Commission canadienne de sûreté nucléaire
Canadian Nuclear Safety Commission

PROJET DE NORME D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Exigences techniques et d'assurance de la qualité des services de dosimétrie

S–106, Révision1

Présenté pour consultation publique
Janvier 2005

Canada

DOCUMENTS D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Le cadre juridique qui régit la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) est constitué notamment de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (*LSRN*), de ses règlements d'application et d'autres instruments juridiques comme les permis, les certificats et les ordres ou ordonnances. Ce cadre juridique est soutenu par des documents d'application de la réglementation publiés par la CCSN, dont voici les principales catégories :

Politique d'application de la réglementation (P) : Il s'agit d'un document qui décrit la philosophie, les principes ou les facteurs fondamentaux qui soutiennent l'approche qu'utilise 'a CCSN pour exercer son mandat de réglementation. Une politique d'application de la réglementation vise à orienter l'action du personnel de la CCSN et à renseigner les parties intéressées.

Norme d'application de la réglementation (S) : Il s'agit d'un document qui décrit les exigences de la CCSN. Une norme d'application de la réglementation impose des obligations à une personne ou à un organisme assujetti à la réglementation quand un permis ou un autre instrument ayant force de loi y renvoie.

Guide d'application de la réglementation (G) : Il s'agit d'un document qui indique des méthodes acceptables de satisfaire aux exigences de la CCSN, telles que précisées dans la *LSRN* et ses règlements d'application, dans les normes d'application de la réglementation ou dans tout autre instrument ayant force de loi. Un guide d'application de la réglementation fournit des lignes directrices aux titulaires de permis et aux parties intéressées.

Avis d'application de la réglementation (N) : Il s'agit d'un document qui contient des renseignements destinés aux titulaires de permis et aux autres parties intéressées au sujet de questions importantes qui nécessitent la prise de mesures au moment opportun.

PROJET DE NORME D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

EXIGENCES TECHNIQUES ET D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ POUR LES SERVICES DE DOSIMÉTRIE, RÉV. 1 S-106, RÉVISION 1

JANVIER 2005

Au sujet du présent document

La présente norme d'application de la réglementation, lorsqu'elle accompagne un permis de service de dosimétrie ou un autre instrument ayant force de loi, a pour objet d'assurer que les services de dosimétrie agréés respectent certaines exigences techniques et mettent en œuvre certaines mesures d'assurance de la qualité, conformément à la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (la « *LSRN* », ou la « *Loi* »).

Invitation à commenter

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) invite les personnes qui désirent contribuer à l'amélioration du présent projet de norme à lui faire part de leurs observations, par écrit, tant sur la teneur du document que sur son utilité. Veuillez répondre d'ici le 24 mars 2005, par courriel à consultation@cnsc-ccsn.gc.ca ou par courrier postal à l'adresse indiquée ci-dessous, en mettant en référence le numéro de dossier 1-8-8-106.

La CCSN tiendra compte des commentaires reçus pour finaliser le projet de norme. Si vous souhaitez apporter une modification au projet de norme, veuillez justifier ladite modification et, de préférence, proposer le nouveau libellé. Les commentaires sont assujettis aux dispositions de la *Loi sur l'accès à l'information*.

Disponibilité du document

Le présent document peut être consulté sur le site Web de la CCSN à www.suretenucleaire.gc.ca. On peut également en commander un exemplaire, en français ou en anglais, en communiquant avec la personne suivante :

Adjointe administrative
Division des normes de réglementation et de la recherche
Direction des stratégies opérationnelles
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, Succursale B
280, rue Slater
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
Canada

Téléphone : (613) 947-3981
Télécopieur : (613) 995-5086
Courriel : consultation@cnsc-ccsn.gc.ca

PROJET DE NORME D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

S–106, Révision 1

Exigences techniques et d'assurance de la qualité pour les services de dosimétrie

Présenté pour consultation publique par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Janvier 2005

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ..... **III**

1.0 OBJET **1**

2.0 PORTÉE **1**

3.0 LÉGISLATION PERTINENTE **1**

4.0 EXIGENCES TECHNIQUES **2**

4.1. Services de dosimétrie externe 2
4.1.1. Grandeurs à mesurer 3
4.1.2. Équivalent de dose minimal mesurable 3
4.1.3. Normes d'exactitude et limites d'incertitude 4
4.1.4. Essais de type 4
4.1.5. Essais de fonctionnement 5
4.1.6. Essais indépendants 6
4.1.7. Exigences pour les services de routine de dosimétrie neutronique 7
4.2. Services de dosimétrie des rayonnements internes 10
4.2.1. Grandeurs à mesurer 10
4.2.2. Normes d'exactitude et de précision *in vitro* 12
4.2.3. Essais de fonctionnement pour les mesures *in vitro* 12
4.2.4. Essais indépendants pour les mesures *in vitro* 13
4.2.5. Normes d'exactitude et de précision *in vivo* 14
4.2.6. Essais indépendants pour les mesures *in vivo* 14
4.2.7. Essais indépendants pour les mesures in vivo 15
4.2.8. Interprétation des données du biodosage 15
4.3. Services de dosimétrie des produits de filiation du radon, du radon et des poussières radioactives à longue période 16
4.3.1. Grandeurs à mesurer 17
4.3.2. Exposition ou concentration minimale mesurable 18
4.3.3. Normes d'exactitude et limites d'incertitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon 18
4.3.4. Essais de type pour les instruments de mesure des produits de filiation du radon 19
4.3.5. Essais indépendants pour la surveillance des produits de filiation du radon 21
4.3.6. Normes d'exactitude et de précision relative pour les mesures de l'exposition au radon 21
4.3.7. Essais de type pour les moniteurs individuels d'exposition au radon 22
4.3.8. Essais indépendants pour les mesures de l'exposition au radon 23
4.3.9. Normes d'exactitude et de précision relative pour les PRLP 23

5.0 EXIGENCES EN MATIÈRE D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ **25**

5.1. Généralités 25
5.2. Programme d'assurance de la qualité 25
5.2.1. Politique de la direction 25
5.2.2. Description du programme d'assurance de la qualité 25

5.2.3. Revue par la direction 25
5.2.4. Organisation et autorité 26
5.2.5. Compétences du personnel 26
5.2.6. Approvisionnement 27
5.2.7. Contrôle du travail 27
5.2.8. Contrôle des modifications 28
5.2.9. Contrôle des documents 28
5.2.10. Étalonnage et entretien 29
5.2.11. Vérification 29
5.2.12. Non-conformité 30
5.2.13. Mesures correctives 30
5.2.14. Enregistrements 31
5.2.15. Vérifications indépendantes 31
6.0 EXIGENCES EN MATIÈRE DE RAPPORT ANNUEL 32
GLOSSAIRE 33
RÉFÉRENCES 37
ANNEXE A EXACTITUDE ET INCERTITUDE EN DOSIMÉTRIE EXTERNE 39
ANNEXE B NORMES RELATIVES AUX ESSAIS DE TYPE EN DOSIMÉTRIE EXTERNE 54
ANNEXE C NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE PHOTONIQUE EXTERNE 59
ANNEXE D NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE DES EXTRÉMITÉS 62
ANNEXE E NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE NEUTRONIQUE 64
ANNEXE F NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE INTERNE 66
ANNEXE G NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS POUR LA MESURE DE L'EXPOSITION AU RADON ET AUX PRODUITS DE FILIATION DU RADON 69
ANNEXE H EXEMPLES DE CALCULS POUR LES MESURES DE L'EXPOSITION AUX PRLP 71
ANNEXE I NORMES RELATIVES AUX DOSSIERS DE DOSES 74
ANNEXE J CENTRES DE RÉFÉRENCE EN ÉTALONNAGE 76

REMERCIEMENTS

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) tient à remercier les membres du Groupe de travail de la CCSN sur la dosimétrie externe, du Groupe de travail de la CCSN sur la dosimétrie interne et du Groupe de travail spécial de la CCSN sur les produits de filiation du radon et les poussières radioactives à longue période pour leur contribution à la préparation du présent document. La CCSN tient aussi à exprimer sa gratitude au Comité de radioprotection fédéral-territorial-provincial qui a également participé à l'élaboration du document.

EXIGENCES TECHNIQUES ET D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ POUR LES SERVICES DE DOSIMÉTRIE

1.0 OBJET

La présente norme d'application de la réglementation, lorsqu'elle accompagne un permis de service de dosimétrie ou un autre instrument ayant force de loi, a pour objet d'assurer que les services de dosimétrie agréés respectent certaines exigences techniques et mettent en œuvre certaines mesures d'assurance de la qualité, conformément à la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires* (la « *LSRN* », ou la « *Loi* »).

2.0 PORTÉE

La présente norme d'application de la réglementation établit les exigences techniques ainsi que les exigences en matière d'assurance de la qualité auxquelles tout service de dosimétrie agréé doit satisfaire lorsque le permis délivré au service de dosimétrie est assujetti au respect de la norme.

La présente norme d'application de la réglementation S-106, Révision 1, *Exigences techniques et d'assurance de la qualité pour les services de dosimétrie*, annule et remplace la norme d'application de la réglementation S-106, *Normes techniques et d'assurance de la qualité des services de dosimétrie au Canada*, publiée en mars 1998.

3.0 LÉGISLATION PERTINENTE

Les dispositions suivantes de la *LSRN* et de ses règlements s'appliquent à la présente norme :

1) Paragraphe 24(4) de la *LSRN*, en vertu duquel la Commission ne délivre, ne renouvelle, ne modifie ou ne remplace un permis que si elle est d'avis que l'auteur de la demande, à la fois, a) est compétent pour exercer les activités visées par la licence ou le permis; b) prendra, dans le cadre de ces activités, les mesures voulues pour préserver la santé et la sécurité des personnes, pour protéger l'environnement, pour maintenir la sécurité nationale et pour mettre en œuvre les obligations internationales que le Canada a assumées.

2) Paragraphe 24(5) de la *LSRN*, en vertu duquel les licences et les permis délivrés par la CCSN peuvent être assortis des conditions que la Commission estime nécessaires à l'application de la *Loi*.

3) Article 18 du *Règlement sur la radioprotection*, qui stipule que la demande de permis pour exploiter un service de dosimétrie doit comprendre les renseignements suivants, outre ceux exigés par d'autres règlements :

   a) « une description du fonctionnement proposé du service de dosimétrie;

   b) le programme d'assurance de la qualité proposé;

c) les genres de services de dosimétrie proposés, y compris les types de rayonnement qui seront soumis au contrôle et les gammes d'énergies correspondantes;

d) la précision, l'exactitude et la fiabilité des services de dosimétrie proposés;

e) les qualifications et le programme de formation proposés pour les travailleurs ».

4) Article 19 du *Règlement sur la radioprotection*, qui stipule que « le titulaire de permis qui exploite un service de dosimétrie dépose au Fichier dosimétrique national du ministère de la Santé, à la fréquence prévue dans le permis et sous une forme compatible avec le Fichier, les renseignements suivants à l'égard de chaque travailleur du secteur nucléaire pour qui le service a mesuré et contrôlé une dose de rayonnement :

a) les prénoms, le nom de famille et tout nom de famille antérieur du travailleur;

b) le numéro d'assurance sociale du travailleur;

c) le sexe du travailleur;

d) la catégorie d'emploi du travailleur;

e) la date, la province et le pays de naissance du travailleur;

f) le degré d'exposition du travailleur aux produits de filiation du radon;

g) la dose efficace et la dose équivalente reçues par le travailleur et engagées à son égard. »

4.0 EXIGENCES TECHNIQUES

Les exigences techniques énoncées dans la présente section s'appliquent de façon particulière à la dosimétrie externe, à la dosimétrie interne et à la mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon, du radon et des poussières radioactives à longue période (PRLP). Ces exigences s'appliquent à la fois aux services externes (commerciaux) et aux services internes.

4.1. Services de dosimétrie externe

Tout service de dosimétrie externe doit :

1) déterminer, à l'étape de la demande de permis, les types de rayonnement et les gammes d'énergie respectives prévues auxquels les dosimètres seront exposés;

2) mesurer la grandeur d'intérêt en respectant les normes d'exactitude et les limites d'incertitude qui s'appliquent à cette grandeur [voir la section 4.1.3];

3) prouver qu'il est capable de satisfaire aux normes globales en effectuant des essais de type à l'étape de la demande de permis et lorsque des changements sont apportés [voir la section 4.1.4];

4) prouver qu'il fonctionne de manière prévisible et cohérente en effectuant des essais de fonctionnement périodiques et ponctuels [voir la section 4.1.5];

5) soumettre son fonctionnement et l'étalonnage de son système à des essais indépendants [voir la section 4.1.6].

Remarque : Ces exigences ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique. Les exigences applicables aux services de dosimétrie neutronique sont définies dans la section 4.1.7.

Le service de dosimétrie doit aviser immédiatement la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), par écrit (l'avis peut être envoyé par voie électronique) lorsqu'il échoue à l'un des essais périodiques (essai de fonctionnement ou essai indépendant). Il doit également soumettre, dans les 30 jours, un rapport écrit détaillé dans lequel il explique les causes de l'échec et décrit les mesures correctives qui ont été prises.

Le service de dosimétrie doit reprendre immédiatement l'essai auquel il a échoué et soumettre les résultats à la CCSN. S'il échoue de nouveau, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

4.1.1. Grandeurs à mesurer

4.1.1.1. Torse

La grandeur à mesurer est l'« équivalent de dose individuel » $H_p(d)$ tel que défini dans le rapport 47 [1] de la Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR). Les valeurs de d sont de 0,07 mm pour la dose superficielle (ou « à la peau ») et de 10 mm pour la dose profonde (ou « au corps entier »). Pour évaluer les erreurs de mesure, on compare le résultat d'une mesure à la valeur reconnue comme exacte. Dans les sections qui suivent, $H_{p,c}(d)$ désigne la valeur reconnue comme exacte de la quantité $H_p(d)$. Pour de plus amples renseignements, voir la section A.2 de l'annexe A.

4.1.1.2. Extrémités

La quantité à mesurer pour une extrémité particulière est l'équivalent de dose à une profondeur de 0,07 mm. Dans le présent document, cette quantité est représentée par H_c. La profondeur est celle recommandée dans la publication 60 [2] de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Dans les sections qui suivent, conformément aux explications données dans la section A.2 de l'annexe A, $H_{c,c}$ désigne la valeur reconnue comme exacte de la grandeur H_c.

4.1.2. Équivalent de dose minimal mesurable

Le service de dosimétrie doit déterminer les valeurs les plus basses de $H_{p,c}(d)$ et $H_{c,c}$ qu'il peut mesurer avec un niveau de confiance de 95 %. Ces valeurs devront être déterminées dans de bonnes conditions de laboratoire, alors que le rayonnement habituel de référence (étalonnage) est en incidence normale sur le dosimètre.

4.1.3. *Normes* d'exactitude et limites d'incertitude

Les exigences énoncées dans la présente section ne s'appliquent pas à la dosimétrie neutronique.

Le tableau 1 résume les normes générales d'exactitude et de précision. Les essais de type, décrits dans la section 4.1.4 et dans l'annexe B, déterminent la capacité d'un système de dosimétrie de satisfaire à ces normes. Les méthodes de calcul utilisées pour analyser les résultats des essais de type sont décrites dans la section A.3 de l'annexe A. La section A.4 de l'annexe A fournit des exemples de calcul.

TABLEAU 1 – Normes d'exactitude et de précision

Grandeur	Dose (mSv)	Exactitude/Précision
$H_{p,c}(10)$	4 à 10 000	+50 % / -33 %
	0,4	+100 % / -50 %
$H_{p,c}(0,07)$	100 à 10 000	+50 % / -33 %
	10	+100 % / -50 %
$H_{c,c}$	100 à 10 000	+200 % / -67 %
	10	+200 % / -67 %

4.1.4. Essais de type

Les exigences énoncées dans la présente section ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique.

4.1.4.1. Exigences

Le service de dosimétrie fournit la preuve de la capacité de son système de dosimétrie de satisfaire aux normes générales en procédant à des essais de type à l'étape de la demande de permis. Lorsque des changements susceptibles d'influer sur le résultat d'un relevé dosimétrique sont apportés, le service de dosimétrie doit reprendre les essais de type nécessaires pour démontrer qu'il continue de satisfaire aux exigences indiquées dans le tableau 1 de la section 4.1.3. Les changements peuvent concerner, entre autres, la conception du dosimètre, les filtres des boîtiers, l'algorithme des doses et les cycles de température (pour la dosimétrie thermoluminescente [DTL]).

Le service de dosimétrie doit présenter à la CCSN les résultats des essais de type qui ont été repris à la suite de changements apportés au système, avec la documentation indiquée dans la section 4.1.4.2. Il devra obtenir l'autorisation de la CCSN avant d'utiliser le système ainsi modifié.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes énoncées dans l'annexe B.

4.1.4.2. Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1) les résultats des essais de type sous une forme qui indique clairement toutes les grandeurs d'influence et les caractéristiques du système soumis à l'examen, avec la gamme de leurs valeurs possibles, selon l'évaluation du service de dosimétrie en fonction de l'utilisation prévue du système de dosimétrie concerné;
2) les exemples de calcul de la réponse moyenne et de l'incertitude type globale;
3) les justifications pour les hypothèses posées et les techniques utilisées.

4.1.5. Essais de fonctionnement

Les exigences énoncées dans la présente section ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique.

4.1.5.1. Exigences

Le service de dosimétrie doit effectuer des essais de fonctionnement de routine. Outre les essais de fonctionnement de routine, le service de dosimétrie doit effectuer à l'occasion des essais de fonctionnement spéciaux pour vérifier si le fonctionnement du système dosimétrique correspond toujours aux résultats obtenus lors des essais de type.

Le service de dosimétrie doit prévoir des essais de fonctionnement de routine pendant chaque période d'utilisation des dosimètres. Pour les dosimètres d'extrémité, on doit effectuer des essais de fonctionnement au moins une fois par trimestre. La fréquence et la nature des essais de fonctionnement spéciaux doivent être précisées dans la demande de permis.

1) Pour les essais de fonctionnement de routine, le service de dosimétrie doit :
   a) irradier les dosimètres d'essai à des doses connues, d'ordinaire dans des conditions types d'exposition (à incidence normale avec le rayonnement d'étalonnage, par exemple);
   b) utiliser les dosimètres d'essai comme ses dosimètres ordinaires; s'ils doivent faire l'objet d'un traitement, on n'indiquera pas au laboratoire chargé de ce traitement qu'il s'agit de dosimètres d'essai;
   c) inclure dans les essais des irradiations à des doses comparables ou inférieures aux valeurs minimales indiquées dans le tableau 1 de la section 4.1.3;
   d) établir, en consultation avec le personnel de la CCSN, des limites de contrôle pour les résultats des essais.

   Le service de dosimétrie peut tenir constantes les conditions et les doses d'irradiation pour permettre une meilleure analyse des tendances.

2) Lors des essais de fonctionnement spéciaux, le service de dosimétrie devra soumettre les dosimètres à un sous-ensemble des grandeurs d'influence jugées significatives à la suite des essais de type, qui serviront à établir si la réponse du système a changé par suite du vieillissement ou du remplacement d'éléments.

4.1.5.2. Documentation

1) Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :
   a) les procédures des essais de fonctionnement de routine;
   b) les résultats des essais de fonctionnement de routine et spéciaux.
2) Le service de dosimétrie doit soumettre les procédures des essais de fonctionnement de routine à la CCSN, afin d'obtenir son approbation, à l'étape de la demande de permis.

4.1.6. Essais indépendants

Les exigences énoncées dans la présente section ne s'appliquent pas aux services de dosimétrie neutronique.

4.1.6.1. Exigences

Avant d'obtenir leurs permis, les services de dosimétrie externe sont tenus de réussir les essais indépendants, pour chacun de leurs types de dosimètre. Une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois.

Les essais indépendants doivent être effectués par le centre de référence en étalonnage désigné pour la dosimétrie externe au Canada (voir l'annexe J).

Si le service de dosimétrie dispose de dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des DTL, par exemple) et qu'il emploie plus d'une unité de traitement (des lecteurs DTL, par exemple), on doit vérifier chacune de ces unités tous les ans en s'en servant pour traiter au moins un jeu de dosimètres d'essai irradiés par le centre de référence en étalonnage. Néanmoins, si le service de dosimétrie peut apporter une preuve écrite que toutes ses unités de traitement ont une réponse uniforme, il lui suffira de soumettre annuellement l'une d'entre elles à l'essai effectué par le centre de référence en étalonnage. Pour établir, dans ce dernier cas, la cohérence de réponse des unités de traitement, le service de dosimétrie doit démontrer que la réponse moyenne (c'est-à-dire, la dose calculée en moyenne) d'un jeu de dosimètres traités par une unité quelconque se situe à ±5 % (au niveau de confiance de 95 %) de la moyenne des réponses obtenues avec toutes les unités de traitement. De plus, le coefficient de variation des dosimètres traités par chaque unité ne doit pas dépasser 0,075 dans le cas des dosimètres de corps entier et 0,2 dans le cas des dosimètres d'extrémités.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes énoncées dans l'annexe C ou l'annexe D, selon le cas.

4.1.6.2. Normes d'exactitude

Les normes d'exactitude auxquelles le service de dosimétrie doit satisfaire dans chacun des essais indépendants en dosimétrie photonique et bêta sont représentées dans le tableau 2 par la réponse moyenne, $\bar{r}$, et le coefficient de variation des réponses pour l'ensemble des relevés. Lorsque les dosimètres sont portés sur le torse, la réponse moyenne correspond à l'ensemble des relevés des kermas de l'air (ou expositions) reçus. Lorsque les dosimètres sont portés aux extrémités, la réponse moyenne correspond à l'ensemble des relevés des doses tissulaires délivrées.

Tableau 2 – Normes d'exactitude pour les dosimètres

Dosimètre	Réponse moyenne, $\bar{r}$	Coefficient de variation
Porté sur le torse	$0{,}9 \leq \bar{r} \leq 1{,}1$	$\leq 0{,}075$
Porté aux extrémités	$0{,}75 \leq \bar{r} \leq 1{,}25$	$\leq 0{,}2$

Remarque : Pour ces essais, la réponse indiquée dans le tableau est définie par rapport à la valeur reconnue comme exacte de la grandeur appropriée.

4.1.7. Exigences pour les services de routine de dosimétrie neutronique

Le service de dosimétrie neutronique doit :

1) dans le cas d'un service de dosimétrie neutronique de catégorie I, veiller à la compatibilité entre ses dosimètres neutroniques et les champs de rayonnement neutronique dans lesquels ils seront utilisés;

2) dans le cas d'un service de dosimétrie neutronique de catégorie II, fournir une description des sources de neutrons et des spectres prévus des rayonnements neutroniques auxquels les travailleurs seront exposés afin de prouver que ses dosimètres neutroniques sont compatibles avec les champs de rayonnement neutronique dans lesquels ils seront utilisés;

3) fournir des descriptions techniques détaillées des dosimètres et du matériel connexe;

4) consigner les données et préparer des rapports contenant des renseignements quantitatifs sur le fonctionnement des dosimètres et du service. Il n'est pas tenu d'effectuer des essais de type, sauf pour vérifier que le spectre du rayonnement neutronique est compatible avec les champs auxquels les travailleurs risquent d'être exposés. Les rapports doivent contenir les données suivantes :

a) une description de la source d'étalonnage et du champ d'étalonnage, et une indication du protocole d'étalonnage utilisé;

b) la réponse en énergie des dosimètres en termes d'équivalent de dose;

c) une indication des limitations du système de dosimétrie et une estimation qualitative de son exactitude et de sa précision dans la mesure de $H_{p,c}(10)$, dans les conditions dans lesquelles les dosimètres seront utilisés, y compris une indication de la variabilité associée au traitement;

d) une estimation de la valeur de $H_{p,c}(10)$ la plus faible que le système de dosimétrie est capable de mesurer au niveau de confiance de 95 %;

e) la dose minimale à déclarer;

5) assurer la traçabilité de l'étalonnage de son système, directement au centre de référence en étalonnage (voir l'annexe J) ou à un autre laboratoire national ou international agréé, en consultation avec la CCSN.

Les exigences susmentionnées s'appliquent également aux appareils de contrôle radiologique que le service de dosimétrie pourrait utiliser à la place des dosimètres neutroniques individuels. Dans ce cas, le service de dosimétrie doit également mettre en place un programme d'étalonnage périodique avec le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J) ou tout autre laboratoire national ou international agréé, en consultation avec la CCSN.

4.1.7.1. Essais indépendants

Le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants, effectuées par le centre de référence en étalonnage (voir l'annexe J), avant d'obtenir son permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois, après obtention du permis. Ces essais permettent au service de dosimétrie de faire la preuve, à intervalles réguliers, qu'il fonctionne de façon uniforme. Les critères d'uniformité sont établis durant l'étape de la demande de permis. Le tableau 3 indique les normes à respecter pour l'ensemble des relevés.

Tableau 3 – Normes d'exactitude pour les dosimètres neutroniques

Dosimètre	Réponse moyenne, $\bar{r}$	Coefficient de variation des réponses
Tous types	$0,6 \leq \bar{r} \leq 1,4$	$\leq 0,25$

Le service de dosimétrie doit satisfaire aux normes énoncées dans l'annexe E.

4.1.7.2. Essais de fonctionnement

Le service de dosimétrie doit mettre en place un programme d'essais de fonctionnement de routine, en consultation avec la CCSN. Il devra soumettre les documents pertinents, indiquant notamment la fréquence des essais, à la CCSN au moment de la demande de permis.

4.1.7.3. Documentation

Les doses neutroniques doivent être consignées et déclarées séparément des autres types de dose.

4.2. Services de dosimétrie des rayonnements internes

Le service de dosimétrie des rayonnements internes doit :

1) mesurer les activités et les activités volumiques de certains radionucléides [voir la section 4.2.1];

2) mesurer la grandeur d'intérêt, avec l'exactitude et la précision prescrites [voir les sections 4.2.2 et 4.2.5];

3) faire la preuve qu'il fonctionne de manière prévisible et uniforme, en réalisant des essais de fonctionnement [voir les sections 4.2.3 et 4.2.6];

4) faire la preuve qu'il fonctionne de manière fiable en se soumettant à des essais indépendants [voir les sections 4.2.4 et 4.2.7];

5) vérifier les doses, tel qu'indiqué à la section 4.2.8.

Le service de dosimétrie doit aviser immédiatement la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), par écrit (l'avis peut être envoyé par voie électronique) lorsqu'il échoue à l'un des essais périodiques (essai de fonctionnement ou essai indépendant). Il doit également soumettre, dans les 30 jours, un rapport écrit détaillé dans lequel il explique les causes de l'échec et décrit les mesures correctives qui ont été prises.

Le service de dosimétrie doit reprendre immédiatement l'essai auquel il a échoué et soumettre les résultats à la CCSN. S'il échoue de nouveau, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

4.2.1. Grandeurs à mesurer

Les services de dosimétrie des rayonnements internes doivent être capables de mesurer des activités et des activités volumiques égales aux niveaux minimaux d'essai (NME) indiqués dans le tableau 4 pour les radionucléides visés par leurs permis. Les valeurs supérieures à celles indiquées dans le tableau 4 peuvent être utilisées comme NME si le service de dosimétrie interne peut démontrer que la conséquence des doses pour chaque mesure est peu importante, c.-à-d. inférieure à 0,01 mSv.

Pour simuler les conditions de travail, on pourra introduire des radionucléides autres que ceux indiqués dans le tableau 4 durant les essais indépendants requis, qui sont décrits dans les sections 4.2.4 et 4.2.7. Ces radionucléides ne sont pas considérés comme faisant partie de l'essai; ils sont seulement ajoutés pour provoquer des interférences et mettre ainsi au défi le système d'analyse du service de dosimétrie. Par conséquent, le service de dosimétrie peut très bien réussir l'essai sans identifier ces radionucléides ou mesurer leur activité. Toutefois, le service de dosimétrie peut échouer à l'essai s'il n'apporte pas les corrections nécessaires pour tenir compte de ces interférences.

TABLEAU 4 - Niveaux minimaux d'essai (NME)

Radionucléide	*In vitro* - Biodosage de l'urine (Bq/L)	*In vivo* Biodosage (Bq)
Hydrogène 3 (HTO)	2 000	s. o.
Carbone 14	2 000	3×10^5 (poumon)
Fer 59	s. o.	2 500
Cobalt 57*	25	2 500
Cobalt 60	25	2 500
Strontium 90	2	s. o.
Zirconium / Niobium 95	s. o.	2 000
Antimoine 124	s. o.	2 000
Iode 125	20	1 000
Iode 131	20	1 000
Césium 137	20	2 000
Cérium 144	250	25 000
Radium 226	0,05	5 000
Thorium 230	0,02	s. o.
Thorium naturel**	0,02	150 (poumon)
Uranium naturel***	25 µg/L	20 mg (poumon)
Uranium 235	0,02	30 (poumon)
Plutonium 238/239/240	0,01	9)00 (poumon)
Américium 241	0,05	100 (poumon)

Remarque : * ^{57}Co est utilisé pour remplacer ^{144}Ce
** Comprend ^{232}Th et ^{228}Th (Dalheimer et Henrichs [3])
*** Comprend ^{238}U, ^{234}U et ^{235}U

4.2.2. Normes d'exactitude et de précision *in vitro*

Les normes d'exactitude et de précision *in vitro* sont indiquées dans le tableau 5. Pour évaluer le respect des normes d'exactitude, on doit considérer séparément le biais et la précision. Il faut donc calculer le biais relatif moyen B à partir de relevés répétés, A_i, de chaque activité volumique ou niveau d'activité A. Comme le biais est souvent plus grand à des activités volumiques moindres, proches des seuils de détection, qu'à des activités volumiques élevées, les essais des laboratoires du service de dosimétrie seront effectués en prenant en compte plusieurs activités volumiques au moins égales au NME.

Tableau 5 – Normes d'exactitude et de précision

Biais relatif moyen, B	Précision relative, S_B (valeur absolue)
$-0,25 \leq B \leq 0,50$	$\leq 0,40$

4.2.3. Essais de fonctionnement pour les mesures *in vitro*

4.2.3.1. Exigences

Le service de dosimétrie doit effectuer des essais de fonctionnement périodiques. Il doit prévoir de tels essais pour les biodosages *in vitro*, au moins une fois par trimestre.

Pour effectuer les essais de fonctionnement périodiques, le service de dosimétrie doit :

1) Préparer les échantillons d'essai de manière à obtenir des mélanges d'activités volumiques qui sont connues seulement de la personne qui prépare les échantillons (la préparation des échantillons doit être effectué par une personne autre que celle qui analyse l'échantillon de biodosage *in vitro*);

2) déterminer la concentration du mélange dans les échantillons d'essai;

3) traiter les échantillons d'essai de la même façon que les échantillons de biodosage *in vitro* ordinaires, et de telle sorte que l'on ne puisse les distinguer de ces derniers;

4) inclure dans les échantillons d'essai des activités volumiques comparables ou supérieures aux valeurs indiquées dans le tableau 4 de la section 4.2.1;

5) inclure dans les essais de fonctionnement les mêmes catégories de radionucléides que celles qui sont incluses dans les essais indépendants auxquels le service de dosimétrie participe;

6) établir, en consultation avec la CCSN, des limites de contrôle pour les résultats des essais.

4.2.3.2. Documentation

1) Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :
   a) les procédures des essais de fonctionnement;
   b) les résultats des essais de fonctionnement.
2) Le service de dosimétrie doit soumettre les procédures des essais de fonctionnement à la CCSN, afin d'obtenir son approbation, à l'étape de la demande de permis.

4.2.4. Essais indépendants pour les mesures *in vitro*

4.2.4.1. Exigences

Avant d'obtenir leurs permis, les services de dosimétrie interne sont tenus de se soumettre à des essais indépendants. Une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois ou à toute autre fréquence établie en consultation avec la CCSN.

Si le service de dosimétrie utilise plus d'un instrument de mesure (plusieurs compteurs à scintillation liquide pour l'analyse du tritium, par exemple), les instruments qui n'ont pas été utilisés pour l'essai indépendant devront être vérifiés à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois, en regard de l'instrument de mesure soumis à l'essai indépendant. Le laboratoire du service de dosimétrie est tenu de faire la preuve que tous les autres instruments de mesure satisfont également aux normes d'exactitude et de précision. Les facteurs tels que la récupération chimique, le coupage, la gamme des activités volumiques et les méthodes de préparation des échantillons devront, le cas échéant, être pris en compte.

Les essais indépendants sont effectués par le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J), à moins d'indication contraire dans le permis du service de dosimétrie. Si le centre de référence en étalonnage approprié n'offre pas l'essai, le service de dosimétrie doit demander à la CCSN l'autorisation de faire appel à un autre organisme.

Le rendement des services de dosimétrie doit être vérifié aux niveaux d'activité rencontrés lors du contrôle périodique du personnel, ainsi qu'aux niveaux prévus à la suite d'expositions accidentelles. Les échantillons d'essai seront « ensemencés » d'une quantité connue d'activité traçable qui sera égale ou supérieure au NME. On vérifiera la reproductibilité des mesures en fournissant plusieurs échantillons identiques pour chaque niveau d'activité.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes énoncées dans l'annexe F.

4.2.5. Normes d'exactitude et de précision *in vivo*

Le tableau 6 indique les normes d'exactitude et de précision *in vivo*.

Tableau 6 – Normes d'exactitude et de précision *in vivo*

Biais relatif moyen, B	Précision du biais, P_B (valeur absolue)
$-0,25 \leq B \leq 0,50$	$\leq 0,40$

4.2.6. Essais indépendants pour les mesures *in vivo*

4.2.6.1. Exigences

Le service de dosimétrie doit effectuer des essais de fonctionnement périodiques. Il doit prévoir de tels essais pour les biodosages *in vivo*, au moins une fois tous les trois mois.

Pour effectuer les essais de fonctionnement périodiques, le service de dosimétrie doit :

1) déterminer l'activité d'une source qui contient une certaine quantité du mélange de la source dans le fantôme et qui n'est pas connue du laboratoire qui effectue le biodosage *in vivo* (la quantité du mélange dans la source doit être choisie par une personne autre que celle qui effectue la mesure de biodosage *in vivo*);
2) choisir la source de manière à ce que la quantité du mélange soit égale ou supérieure aux valeurs indiquées au tableau 4 de la section 4.2.1;
3) inclure dans les essais de fonctionnement les mêmes catégories de radionucléides que celles qui sont incluses dans les essais indépendants auxquels le service de dosimétrie participe;
4) fixer, en consultation avec la CCSN, des limites de contrôle des résultats des essais.

4.2.6.2. Documentation

1) Le service de dosimétrie doit tenir les registres suivants :
   (a) les procédures suivies pour les essais de fonctionnement;
   (b) les résultats des essais de fonctionnement.
2) Le service de dosimétrie doit présenter les procédures des essais de fonctionnement à la CCSN en vue d'une approbation à l'étape de la demande de permis.

4.2.7. Essais indépendants pour les mesures in vivo

4.2.7.1. Exigences

Avant d'obtenir leurs permis, les services de dosimétrie interne sont tenus de se soumettre à des essais indépendants. Une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois ou à toute autre fréquence établie en consultation avec la CCSN.

Le service de dosimétrie doit se soumettre aux essais indépendants au moins une fois à tous les 12 mois, même si aucun changement n'est apporté au système de mesure, afin de pouvoir démontrer qu'il demeure compétent. Il faut alors tenir compte, le cas échéant, de facteurs comme les variations de la répartition de la source dans le fantôme, les changements dans le fond de rayonnement et les erreurs de position.

Les essais indépendants sont effectués par le centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J), à moins d'indication contraire dans le permis du service de dosimétrie. Si le centre de référence en étalonnage approprié n'offre pas l'essai, le service de dosimétrie doit demander à la CCSN l'autorisation de faire appel à un autre organisme.

Si des modifications susceptibles d'influer sur l'étalonnage sont apportées aux détecteurs, à la géométrie de comptage ou aux composants électroniques du système de mesure, de nouveaux essais indépendants devront être effectués. Les fantômes utilisés pour l'étalonnage à des énergies gamma de moins de 100 keV doivent être composés de matériaux équivalents aux tissus organiques et doivent être anthropomorphiques. Dans le cas des énergies gamma supérieures à 100 keV, les fantômes faits d'autres matériaux sont acceptables.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes définies dans l'annexe F.

4.2.8. Interprétation des données du biodosage

4.2.8.1. Exigences

Contrôle de la dose efficace engagée

Les services de dosimétrie interne doivent contrôler et enregistrer la dose efficace engagée reçue par les travailleurs en fonction des types de mesures mentionnées dans le permis, en tenant compte des paramètres humains physiologiques appropriés et d'autres renseignements pertinents sur les conditions d'exposition.

Au moment de contrôler la dose efficace reçue par un travailleur, les services de dosimétrie doivent tenir compte des paramètres propres au site, à moins que l'on ait démontré que d'autres valeurs, par exemple les valeurs par défaut ou les valeurs antérieurement approuvées par la CCSN, sont appropriées. Tous les paramètres clés doivent être documentés.

Essais de fonctionnement

Avant d'obtenir leur permis, les services de dosimétrie interne sont tenus de se soumettre à des essais indépendants. Une fois agréé, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois ou à toute autre fréquence établie en consultation avec la CCSN. Le service de dosimétrie doit se soumettre aux essais indépendants au moins une fois à tous les 12 mois, même si aucun changement n'est apporté au système de mesure, afin de pouvoir démontrer qu'il demeure compétent, et il doit procéder au contrôle des doses efficaces engagées à partir de scénarios d'exposition hypothétiques qui sont pertinents pour les activités réalisées par les titulaires de permis de la CCSN qui ont recours au service de dosimétrie.

Le service de dosimétrie interne doit demander au centre d'étalonnage approprié (voir ANNEXE J) de réaliser les essais de fonctionnement, à moins d'indication contraire dans le permis du service de dosimétrie.

4.2.8.2. Documentation

Le service de dosimétrie doit présenter à la CCSN les procédures de contrôle de la dose efficace engagée reçue par les travailleurs, en vue d'une approbation, à l'étape de la demande de permis.

4.3. Services de dosimétrie des produits de filiation du radon, du radon et des poussières radioactives à longue période

La surveillance des produits de filiation du radon, du radon et des poussières radioactives à longue période (PRLP) facilite l'estimation des doses individuelles ou de l'exposition à ces dangers radiologiques chez les travailleurs des installations de traitement de l'uranium. Ces estimations s'effectuent grâce à des échantillonnages instantanés conjugués à des relevés de durée de séjour, ou à l'aide de moniteurs individuels.

Le service de dosimétrie du radon et des produits de filiation du radon doit :

1. déterminer la concentration dans l'air ou l'exposition la plus faible qu'il peut mesurer à un niveau de confiance de 95 %, avec l'exactitude globale prescrite [voir la section 4.3.2];
2. mesurer la grandeur concernée en respectant les normes d'exactitude et les limites d'incertitude qui s'appliquent à cette grandeur [voir les sections 4.3.3 et 4.3.6];
3. faire la preuve qu'il est en mesure de satisfaire aux normes globales en procédant à des essais de type [voir les sections 4.3.4 et 4.3.7];
4. faire la preuve qu'il fonctionne de manière fiable en se soumettant à des essais indépendants [voir les sections 4.3.5 et 4.3.8].

Le service de dosimétrie doit aviser immédiatement la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), par écrit (l'avis peut être envoyé par voie électronique), lorsqu'il

échoue à l'un des essais périodiques (essai indépendant). Il doit également soumettre, dans les 30 jours, un rapport écrit détaillé dans lequel il explique les causes de l'échec et décrit les mesures correctives qui ont été prises.

Le service de dosimétrie doit reprendre immédiatement l'essai auquel il a échoué et soumettre les résultats à la CCSN. S'il échoue de nouveau, la CCSN peut entreprendre d'autres mesures dans le cadre du régime de permis.

À l'heure actuelle, en ce qui concerne les PRLP, il n'existe ni méthodes, ni critères ni installations pour effectuer les essais de type et aucun établissement n'est en mesure d'offrir des essais indépendants. Par conséquent, la présente norme ne prescrit aucune exigence en matière d'essai de type et d'essai indépendant pour les PRLP. Néanmoins, le service de dosimétrie des PRLP doit :

1. déterminer la concentration dans l'air ou l'exposition la plus faible qu'il peut mesurer à un niveau de confiance de 95 %, avec l'exactitude globale prescrite (voir la section 4.3.2);
2. mesurer la grandeur d'intérêt en respectant les normes d'exactitude et les limites d'incertitude qui s'appliquent à cette grandeur (voir la section 4.3.9).

4.3.1. Grandeurs à mesurer

Les grandeurs à mesurer sont les suivantes :

1) la concentration dans l'air d'énergie potentielle alpha venant de produits de filiation du radon à courte période,
2) l'exposition à ces mêmes produits en suspension dans l'air,
3) la concentration de radon dans l'air,
4) la concentration de poussières radioactives à longue période dans l'air.

Il existe des unités historiques et des unités SI (Système international d'unités) ou compatibles SI de mesure de la concentration dans l'air de produits de filiation du radon à courte période et de l'exposition à ces produits. Dans la présente section, les unités historiques sont indiquées en premier lieu, avec, entre parenthèses, les unités SI ou compatibles SI.

L'unité alpha (WL) est l'unité historique de mesure de la concentration de produits de filiation du radon dans l'air. L'unité SI correspondante est le joule par mètre cube ($J\ m^{-3}$) :

$1\ WL = 20{,}8\ \mu J\ m^{-3}$ $\qquad$ $1\ \mu J\ m^{-3} = 4{,}8 \times 10^{-2}\ WL$

L'unité alpha-mois (WLM) est l'unité historique servant à exprimer l'exposition à ces mêmes produits de filiation. L'unité compatible SI est le joule-heure par mètre cube ($J\ h\ m^{-3}$) :

$1\ WLM = 3{,}54\ mJ\ h\ m^{-3}$ $\qquad$ $1\ mJ\ h\ m^{-3} = 0{,}283\ WLM$

Les concentrations de radon et de PRLP dans l'air se mesurent en activité par unité de volume de cette atmosphère (Bq m^{-3}). Pour calculer l'incorporation (Bq) associée à cette concentration, on multiplie la concentration par un rythme respiratoire défini (1,2 $m^3 h^{-1}$) et la durée de séjour (h). On peut également déterminer l'exposition en Bq h m^{-3} ; l'incorporation est alors égale à cette valeur multipliée par le rythme respiratoire.

4.3.2. Exposition ou concentration minimale mesurable

Le service de dosimétrie doit déterminer et consigner l'exposition ou la concentration dans l'air les plus basses qu'il peut mesurer au niveau de confiance de 95 %, avec des exactitudes globales de +50 %/-33 %. L'exposition minimale mesurable est exprimée dans la même unité que la quantité mesurée.

La section H.1 de l'annexe H fournit des exemples de détermination statistique de l'activité volumique minimale mesurable des PRLP.

4.3.3. Normes d'exactitude et limites d'incertitude pour les mesures de l'exposition aux produits de filiation du radon

Il existe deux catégories d'instruments pour surveiller les expositions individuelles aux produits de filiation du radon, à savoir les moniteurs individuels, qui livrent une estimation directe de l'exposition individuelle, et les instruments d'échantillonnage instantané, qui mesurent la concentration de ces produits en un lieu et à un moment donné et dont les relevés, joints à des relevés de durée de séjour, servent à calculer les expositions individuelles. Les deux catégories d'instruments doivent satisfaire aux exigences respectives énoncées dans la présente section.

Quatre-vingt-quinze pour cent des valeurs obtenues dans une suite de relevés effectués dans un milieu où la concentration est stable et fixe doivent se situer à l'intérieur des limites des intervalles de confiance indiqués dans les tableaux 7 et 8.

Le tableau 7 indique les normes d'exactitude applicables à la mesure de l'exposition à l'aide d'un moniteur individuel pendant une période de dosimétrie.

TABLEAU 7 - Normes de fonctionnement pour la mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon pendant une période de dosimétrie

Intervalles de mesures	Exactitude globale (niveau de confiance de 95 %)
≥ 0,05 WLM (177 µJ h m^{-3}) à < 0,10 WLM (354 µJ h m^{-3})	+100 % / -50 %
≥ 0,10 WLM (354 µJ h m^{-3})	+50 % / -33 %

Le tableau 8 indique les normes d'exactitude applicables à la mesure de la concentration dans l'air d'énergie potentielle alpha contenue dans des produits de filiation du radon, à l'aide d'instruments d'échantillonnage instantané.

TABLEAU 8 - Normes de fonctionnement pour la mesure de la concentration dans l'air d'énergie potentielle alpha

Intervalles de mesures	Exactitude globale (niveau de confiance de 95 %)
$\geq$ 0,05 WL (1,03 µJ m^{-3}) à < 0,10 WL (2,08 µJ m^{-3})	+100 % / -50 %
$\geq$ 0,10 WL (2,08 µJ m^{-3})	+50 % / -33 %

4.3.4. Essais de type pour les instruments de mesure des produits de filiation du radon

4.3.4.1. Exigences

Le service de dosimétrie fait la preuve de la capacité de son système de dosimétrie de satisfaire aux normes globales en effectuant des essais de type à l'étape de la demande de permis. Lorsque des changements sont apportés (aux instruments ou aux méthodes utilisés, par exemple) et que ces changements sont susceptibles d'influer sur le fonctionnement des moniteurs individuels et des instruments d'échantillonnage instantané, le service de dosimétrie doit reprendre les essais de type servant à vérifier l'exactitude et la précision des mesures, autant de fois qu'il est nécessaire pour prouver que les instruments continuent de satisfaire aux normes indiquées dans les tableaux 7 et 8.

Les essais de type visant les instruments de mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon (moniteurs individuels, par exemple) doivent permettre de déterminer toutes les sources possibles d'erreurs et de chiffrer leur importance relative dans l'erreur et l'incertitude globales de la mesure de l'exposition individuelle. En plus de permettre d'établir l'exactitude globale d'un moniteur individuel, les essais de type doivent également permettre de connaître les limites de l'instrument, telles que les conditions susceptibles de causer des problèmes de saturation du filtre ou le temps durant lequel l'instrument pourra être utilisé de façon sûre sans qu'il soit nécessaire de recharger ses piles, par exemple.

Les essais de type visant les instruments de mesure par échantillonnage instantané doivent permettre de déterminer et de chiffrer toutes les sources d'erreurs possibles qui contribuent à l'erreur et à l'incertitude globales de la mesure des concentrations instantanées de produits de filiation du radon. Les erreurs et incertitudes dans les valeurs de l'exposition individuelle réelle, établies à partir des mesures d'échantillonnage instantané, ne sont pas prises en compte.

Lors des essais de type, on tiendra compte des grandeurs d'influence énumérées dans les paragraphes suivants, et on évaluera celles qui risquent d'avoir un effet marqué sur l'exactitude ou l'incertitude. On devra également prendre en considération d'autres grandeurs d'influence qui sont susceptibles d'intervenir dans l'incertitude globale (en

d'autres termes, on tiendra compte de toutes les grandeurs d'influence qui contribuent à l'incertitude de la mesure).

1) Dans le cas des moniteurs individuels, on prend en compte les grandeurs suivantes :

   a) Paramètres d'échantillonnage

      i) la durée de fonctionnement aux valeurs nominales et à pleine charge de pile

      ii) le débit d'échantillonnage

      iii) la variabilité du débit

      iv) l'influence de la répartition granulométrique, et plus particulièrement de la fraction libre de produits de filiation du radon, sur le rendement de l'échantillonnage

   b) Paramètres de détection et de comptage

      i) la géométrie filtre-détecteur

      ii) le rendement de détection en fonction de l'énergie

      iii) la sensibilité au rayonnement provenant de sources autres que les produits de filiation du radon

      iv) la sensibilité aux écarts enregistrés par rapport aux normes de traitement des détecteurs

      v) la sensibilité à la variabilité dans le temps des concentrations de produits de filiation du radon.

2) Dans le cas des instruments d'échantillonnage instantané, on prend en compte les grandeurs suivantes :

      i) le débit d'échantillonnage

      ii) la variabilité du débit

      iii) la sensibilité à la répartition granulométrique, et plus particulièrement à la fraction libre de produits de filiation du radon, dans l'atmosphère contrôlée

      iv) l'étalonnage et la stabilité des compteurs de particules alpha

      v) la méthode de calcul de la concentration de produits de filiation du radon.

Le service de dosimétrie doit présenter à la CCSN les résultats des essais de type qui ont été repris à la suite de changements apportés au système, avec la documentation indiquée dans la section 4.3.4.2. Il devra obtenir l'autorisation de la CCSN avant d'utiliser le système ainsi modifié.

4.3.4.2. Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1) les résultats des essais de type sous une forme qui indique clairement toutes les grandeurs d'influence et les caractéristiques du système soumis à l'examen, avec l'intervalle de leurs valeurs possibles, selon l'évaluation du service de dosimétrie en fonction de l'utilisation prévue du système de dosimétrie concerné;
2) les exemples de calcul de la réponse moyenne et de l'incertitude type globale;
3) les documents justifiant les hypothèses posées et les techniques utilisées.

4.3.5. Essais indépendants pour la surveillance des produits de filiation du radon

4.3.5.1. Exigences

Le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants pour faire la preuve qu'il respecte les normes d'exactitude et de précision relative [voir la section 4.3.3].

Les essais indépendants seront effectués par le centre de référence en étalonnage approprié pour le contrôle des produits de filiation du radon au Canada [voir l'annexe J].

Le service de dosimétrie doit envoyer un échantillon représentatif de ses moniteurs individuels au centre de référence en étalonnage à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois, ou à une autre fréquence approuvée par la CCSN, ainsi qu'après tout changement de conception susceptible d'influer sur le fonctionnement des moniteurs.

Le service de dosimétrie qui procède par échantillonnage instantané doit faire en sorte que le fonctionnement de ses appareils soit conforme aux normes énoncées dans l'annexe G.

4.3.6. Normes d'exactitude et de précision relative pour les mesures de l'exposition au radon

Dans les conditions d'utilisation prévues, les systèmes de surveillance utilisés pour évaluer les concentrations du radon, ou l'exposition au radon, doivent être en mesure de fournir des valeurs avec l'exactitude et la précision relative suivantes :

à l'intérieur des limites + 50 % et - 33 % par rapport aux valeurs « exactes », 95 pour cent du temps.

En d'autres termes, 95 % des valeurs obtenues dans une suite de relevés effectués dans un milieu où la concentration est stable et fixe doivent se situer à l'intérieur des limites de l'intervalle de confiance.

4.3.7. Essais de type pour les moniteurs individuels d'exposition au radon

4.3.7.1. Exigences

Le service de dosimétrie fait la preuve de la capacité de son système de dosimétrie de satisfaire aux normes globales en effectuant des essais de type à l'étape de la demande de permis. Lorsque des changements sont apportés (détecteur ou filtres différents, étui différent, par exemple), le service de dosimétrie doit reprendre les essais de type autant de fois qu'il est nécessaire pour établir l'incidence des changements sur l'exactitude et l'incertitude globales.

Les essais de type visant les instruments de mesure de l'exposition au radon doivent permettre de déterminer toutes les sources possibles d'erreurs et de chiffrer leur importance relative dans l'erreur et l'incertitude globales de la mesure de l'exposition individuelle.

Lors des essais de type, on tiendra compte des grandeurs d'influence énumérées dans les paragraphes suivants, et on évaluera celles qui risquent d'avoir un effet marqué sur l'exactitude ou l'incertitude. On devra également prendre en considération d'autres grandeurs d'influence qui sont susceptibles d'intervenir dans l'incertitude globale.

Les grandeurs d'influence suivantes doivent être prises en compte :

a) la géométrie de la détection

b) l'humidité

c) l'électricité statique

d) l'étalonnage

e) la poussière en suspension dans l'air

f) la sensibilité au rayonnement autre que le rayonnement du radon, ou à d'autres agents

g) la saturation

h) la durabilité en regard du milieu de travail.

4.3.7.2. Documentation

Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers :

1) les résultats des essais de type sous une forme qui indique clairement toutes les grandeurs d'influence et les caractéristiques du système soumis à l'examen, avec l'intervalle de leurs valeurs possibles, selon l'évaluation du service de dosimétrie en fonction de l'utilisation prévue du système de dosimétrie concerné;

2) les exemples de calcul de la réponse moyenne et de l'incertitude type globale;

3) les documents justifiant les hypothèses posées et les techniques utilisées.

4.3.8. Essais indépendants pour les mesures de l'exposition au radon

Le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants pour faire la preuve qu'il respecte les normes d'exactitude et de précision relative [voir la section 4.3.6].

Les essais indépendants seront effectués par le centre de référence en étalonnage approprié pour le contrôle du radon au Canada [voir l'annexe J].

Le service de dosimétrie doit envoyer un échantillon représentatif de ses moniteurs individuels au centre de référence en étalonnage à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois, ou à une autre fréquence approuvée par la CCSN, ainsi qu'après tout changement de conception susceptible d'influer sur le fonctionnement des moniteurs.

Le service de dosimétrie doit respecter les normes énoncées dans l'annexe G.

4.3.9. Normes d'exactitude et de précision relative pour les PRLP

La CCSN évaluera l'exactitude des mesures de PRLP en se fondant sur la qualité et la fiabilité des systèmes d'échantillonnage et de comptage utilisés. Les méthodes d'échantillonnage tenues pour sûres par les hygiénistes industriels seront également considérées comme suffisantes pour l'échantillonnage des PRLP à condition qu'un tel constat de fiabilité soit étayé de références[1] jugées appropriées par la CCSN.

Le service de dosimétrie doit démontrer qu'il suit les bonnes pratiques de surveillance de routine en matière d'hygiène du milieu lors de la mesure des concentrations de PRLP dans l'air. Il faut, en particulier, que le débit des pompes d'échantillonnage ne s'écarte pas de plus de 5 % de la valeur utilisée dans le calcul des concentrations.

Comme tous les radionucléides inhalés, quelle que soit la taille des vecteurs particulaires, contribuent en définitive aux doses engagées, les prélèvements de poussières doivent se faire autant que possible insensibles aux valeurs granulométriques, et donc, sans l'utilisation de cyclones pour le captage et la mesure des poussières radioactives dans l'air.

Le service de dosimétrie doit déterminer l'incertitude globale des mesures des PRLP à partir de la combinaison de toutes les incertitudes attachées à tous les paramètres utilisés pour calculer la concentration des PRLP en fonction de l'activité alpha mesurée sur le filtre du moniteur.

---

[1] Ces références comprennent , sans en exclure d'autres, les publications suivantes : U.S. Department of Labor Occupational Safety & Health Administration (OSHA), Technical Manual Section II: Chapter 1 Personal Sampling for Air Contaminants; National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Manual of Analytical Methods (NMAM®), 4e éd., Publication 94-113; ou Organisation internationale de normalisation, norme ISO 2889:1975 - Principes généraux de l'échantillonnage des matières radioactives en suspension dans l'air.

La section H.2 de l'annexe H fournit des exemples de l'estimation statistique des incertitudes dans le comptage des PRLP.

5.0 EXIGENCES EN MATIÈRE D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ

5.1. Généralités

L'exactitude et la répétabilité des mesures de dose déterminent la qualité d'un service de dosimétrie. Le programme d'assurance de la qualité mis en place dans un service de dosimétrie vise à établir un système de gestion qui garantit que les résultats sont exacts, répétables, vérifiables et correctement enregistrés et conservés. Les exigences énoncées ci-dessous représentent les exigences minimales que le service de dosimétrie doit respecter pour se doter d'un programme d'assurance de la qualité efficace.

5.2. Programme d'assurance de la qualité

5.2.1. Politique de la direction

1) La haute direction doit documenter sa politique en matière de qualité. Cette politique, qui doit convenir à un service de dosimétrie [voir la section 5.1], contiendra une déclaration de principe qui engage le service à fonctionner selon son programme d'assurance de la qualité, à examiner périodiquement si ce programme est toujours adéquat et à améliorer continuellement ses activités.

2) La politique et les objectifs en matière de qualité seront communiqués au personnel.

5.2.2. Description du programme d'assurance de la qualité

Le programme d'assurance de la qualité est établi dans une série de documents interdépendants qui, ensemble, fournissent des descriptions claires, exhaustives et précises des éléments d'information suivants :

1) Énoncés de la politique et des objectifs en matière de qualité.

2) Procédures et instructions documentées.

3) Documents dont le service de dosimétrie a besoin pour planifier, exercer et contrôler ses processus de façon efficace.

4) Enregistrements requis pour faire la preuve que le service de dosimétrie se conforme à son programme d'assurance de la qualité.

Remarque : la documentation peut se présenter sous n'importe quelle forme ou support.

5.2.3. Revue par la direction

1) Les gestionnaires doivent effectuer des auto-évaluations périodiques de leurs activités respectives, afin de déterminer si le service de dosimétrie satisfait

aux normes et aux objectifs de qualité, et d'évaluer l'efficacité des méthodes et processus utilisés. La direction devra élaborer des mesures de rendement qui seront utilisées dans ces auto-évaluations.

2) Au moins une fois par an, la haute direction doit procéder à une évaluation formelle afin de vérifier que les processus sont optimisés et maîtrisés et qu'ils donnent des résultats exacts conformes aux exigences. Dans le cadre de cette revue, on évaluera les possibilités d'améliorer les processus et la nécessité d'apporter des changements au programme d'assurance de la qualité, notamment à la politique en matière de qualité et aux objectifs. La revue annuelle s'appuiera, au minimum, sur les sources d'information suivantes :

   a) évaluation des résultats des activités en regard des objectifs et des normes de qualité;

   b) analyses des résultats des inspections et des essais;

   c) analyses des cas de non-conformité (fréquence, importance, conséquences, causes et responsabilités), des mesures correspondantes de prévention et des tendances relatives aux défaillances;

   d) analyses des résultats obtenus lors des audits internes;

   e) plaintes et problèmes ou erreurs d'exécution;

   f) résultats des auto-évaluations effectuées par les gestionnaires;

   g) analyses de l'efficacité des mesures correctives.

3) Les enregistrements des révisions annuelles devront être conservés.

5.2.4. Organisation et autorité

1) La direction doit définir les responsabilités et les pouvoirs des gestionnaires et du personnel. Les axes de communication interne et externe devront être définis.

2) La direction désignera un responsable des évaluations indépendantes de l'efficacité du programme d'assurance de la qualité, qui relèvera d'un échelon de direction tel qu'il sera suffisamment affranchi des pressions de coût et d'échéancier.

5.2.5. Compétences du personnel

1) Tout le personnel exerçant des activités liées au service de dosimétrie, y compris celles qui sont décrites dans la section 5.2, doit avoir la formation, les qualités et les compétences nécessaires pour s'acquitter efficacement des tâches qui lui sont confiées.

2) Les normes de formation, de qualification et de compétence seront établies par le service de dosimétrie.

5.2.6. Approvisionnement

1) Le service de dosimétrie établit les procédures régissant l'achat de l'équipement et du matériel nécessaires pour effectuer une mesure précise des doses ou des expositions.

2) Les procédures d'achat doivent garantir que le matériel est acheté conformément à certaines exigences. Ces exigences comprennent la préparation d'une description claire de l'article, à l'aide d'une norme ou d'une fiche technique qui fait état, entre autres, de l'exactitude de la mesure et de sa répétabilité, de la traçabilité de l'étalonnage prouvant qu'il a été effectué conformément aux normes nationales, des exigences relatives aux inspections et aux essais, des critères d'acceptation, des exigences du programme d'assurance de la qualité auxquelles le fournisseur doit satisfaire et des exigences en matière d'enregistrement.

3) Les fournisseurs sont évalués et choisis en fonction de leur capacité de respecter les exigences.

4) Le matériel et l'équipement achetés doivent être inspectés pour s'assurer qu'ils sont conformes aux exigences.

5.2.7. Contrôle du travail

1) Tout travail ou activité qui peut influer sur l'attribution de la bonne dose à la bonne personne et sur le maintien d'un système efficace d'enregistrement des doses doit être régi par des procédures établies qui offrent notamment des renseignements détaillés sur les aspects suivants :

   a) les méthodes de travail et l'enchaînement des tâches;

   b) le matériel à utiliser et les milieux de travail spéciaux;

   c) les critères d'acceptabilité;

   d) les points d'inspection;

   e) les exigences d'enregistrement.

2) Les procédures de contrôle du travail doivent permettre d'assurer la conservation des données d'identification (marques et numéros de contrôle) des dosimètres, des échantillons, des étalons, des mesures et des dossiers de doses, ainsi que d'autres données sur lesquelles sont fondées les doses, et de maintenir le lien entre ces données et les personnes effectivement contrôlées.

3) Les procédures de contrôle du travail doivent fixer des exigences et des précautions particulières concernant la manipulation, l'entreposage et l'expédition des dosimètres et des échantillons en vue de prévenir toute perte de sensibilité, d'information ou de précision, ainsi que tout dommage ou perte totale. Elles devront en outre faire état de règles régissant la répartition, l'utilisation et la manipulation des dosimètres de contrôle et des échantillons.

4) Les conclusions relatives aux doses attribuées doivent être suffisamment documentées pour que l'on puisse se reporter aux données initiales (données d'identification, mesures et modèles utilisés, par exemple) et démontrer que les normes ont été respectées.

5) Il faut établir la méthode qui sera utilisée pour faire en sorte que les données sur les doses soient versées au Fichier dosimétrique national (FDN) selon les exigences énoncées à l'annexe I.

5.2.8. Contrôle des modifications

1) Les modifications apportées aux processus de dosimétrie et aux dossiers de doses doivent faire l'objet d'un contrôle.

2) Les modifications doivent être assujetties aux mêmes revues et approbations que les méthodes de dosimétrie et les dossiers de doses originaux.

3) Les modifications proposées doivent êtres examinées et approuvées par des personnes qualifiées avant d'être mises en œuvre.

4) Le service de dosimétrie doit conserver dans ses dossiers tous les documents relatifs aux modifications proposées et mises en œuvre. Les procédures doivent comprendre des normes garantissant que les modifications apportées aux dossiers de doses sont bien documentées.

5) Toute modification qui entraîne une révision des procédures et directives approuvées doit être conforme aux dispositions de la section 5.2.9.

Remarque : Les usagers des services de dosimétrie doivent présenter une demande à la CCSN pour modifier des dossiers de doses conformément aux exigences de la norme d'application de la réglementation CCSN S-260 [4].

5.2.9. Contrôle des documents

1) Des procédures régissant l'élaboration, l'examen, l'approbation, la diffusion, la distribution et la révision des documents et procédures seront établies. Ce principe vaudra tout particulièrement dans le cas des documents et procédures qui contiennent des normes techniques ou qui font état d'activités qui permettront d'atteindre ou de vérifier de telles normes. Au nombre des documents ou procédures de ce genre figurent tout aussi bien les spécifications techniques, les manuels de dosimétrie, les normes et procédures relatives aux dossiers de doses, les procédures d'exploitation, les logiciels, les techniques d'étalonnage et les méthodes d'analyse que les procédures du programme d'assurance de la qualité.

2) Les documents doivent être lisibles, accessibles et facilement repérables.

3) Tout document périmé doit être retiré et, s'il est conservé à d'autres fins, il doit porter la mention « périmé », bien en évidence.

5.2.10. Étalonnage et entretien

1) Les appareils, instruments ou étalons d'enregistrement, de mesure, d'essai, d'analyse ou de comptage dont le bon fonctionnement est essentiel à l'exactitude des mesures de dose doivent être identifiés, contrôlés et tenus en bon état.

2) Le type, la sensibilité et l'exactitude de ces appareils, instruments ou étalons doivent satisfaire aux normes minimales respectives énoncées dans la section 4.0.

3) Les exigences en matière d'étalonnage et d'entretien périodiques seront établies en fonction de l'exactitude requise, du but, du degré d'utilisation, des caractéristiques de stabilité et des autres facteurs influant sur la mesure.

4) Les méthodes d'entretien et d'étalonnage doivent être documentées.

5) L'état de l'étalonnage doit être enregistré et mis à jour et le matériel étalonné doit être marqué de façon claire et indélébile (avec des étiquettes, par exemple). Si le matériel est étalonné avant toute utilisation ou très fréquemment (tous les jours, par exemple), il se peut que l'enregistrement des étalonnages soit suffisant.

6) Les appareils non étalonnés, imprécis ou défectueux doivent être retirés.

7) Des mécanismes doivent être mis en place pour assurer la traçabilité des étalonnages aux étalons de référence nationaux. La traçabilité de l'étalonnage du matériel utilisé comme étalon de transfert, jusqu'aux étalons nationaux, doit également être assurée. Lorsque des étalons de référence sont utilisés comme étalons de transfert pour établir le niveau de référence en fonction duquel les données sont mesurées directement, des méthodes devront être établies pour préserver l'intégrité du processus et des résultats.

8) Si l'on constate que le matériel fournit des mesures inexactes (voir la section 5.2.12), la validité des données ou des résultats doit être vérifiée et des mesures correctives doivent être prises pour empêcher qu'une telle situation ne se reproduise (voir la section 5.2.13).

5.2.11. Vérification

1) Les vérifications des étapes intermédiaire et finale du travail doivent être définies, planifiées, contrôlées, documentées et effectuées conformément aux critères d'acceptation et de performance établis; les ressources appropriées doivent être affectées à ces vérifications.

2) La vérification doit être effectuée par des personnes compétentes autres que celles qui ont participé au travail faisant l'objet de la vérification.

3) La méthode, le moment et le résultat de la vérification doivent être enregistrés, de même que l'identité de la personne qui effectue la vérification.

4) Des inspections, des contrôles et des révisions doivent être définis et planifiés pour s'assurer que le travail est exécuté convenablement [voir les sections 5.2.7 1) à 4)].

5) L'exploitant du service de dosimétrie doit participer aux essais indépendants décrits dans la section 4.0. Les écarts seront traités selon les exigences énoncées dans les sections 5.2.12 et 5.2.13.

5.2.12. Non-conformité

1) Les cas de non-conformité touchant le matériel, les services et les activités doivent être établis, signalés et documentés.

2) Les non-conformités doivent être examinées et des moyens mis en place pour définir, mettre en œuvre, vérifier et consigner les mesures correctives. Les répercussions de la non-conformité sur le travail déjà effectué et les effets potentiels sur les doses attribuées doivent être évalués.

3) Le matériel ou les services non conformes doivent faire l'objet d'un suivi afin d'empêcher toute utilisation non autorisée.

4) Le service de dosimétrie doit établir les solutions de rechange qui seront mises en œuvre en cas de défaillances ou d'erreurs attribuables au matériel (ou à d'autres éléments).

Remarque : Les cas de non-conformité éventuels peuvent être attribuables, notamment, à des procédures inappropriées, à des défaillances ou à des imprécisions du matériel, à des erreurs de calcul, à de fausses désignations, à des données initiales erronées, à l'utilisation de dosimètres ou d'échantillons inappropriés ou à une manipulation ou un traitement de l'information qui laissent à désirer.

5.2.13. Mesures correctives

1) On doit examiner les cas importants ou répétitifs de non-conformité afin d'en établir la cause et de définir les mesures correctives à prendre pour éviter que la situation ne se reproduise.

2) On doit signaler la cause et les mesures correctives prises à l'échelon de la direction approprié, et effectuer un suivi pour vérifier l'efficacité des mesures correctives.

Remarque : Le cas de non-conformité est important lorsqu'il conduit, ou peut conduire, à une situation dans laquelle une surexposition n'est pas décelée, une personne se voit attribuer la mauvaise dose ou une dose est attribuée à la mauvaise personne.

5.2.14. Enregistrements

1) L'étiquetage, l'entreposage, la protection, l'extraction et l'élimination des dossiers doivent être contrôlés. Le mode de présentation des enregistrements sera défini.

2) On doit établir et conserver des dossiers prouvant que les activités prévues se sont convenablement déroulées, et que leurs résultats sont acceptables. Des enregistrements suffisants doivent être conservés pour que l'on soit en mesure d'étayer les conclusions finales et de démontrer la traçabilité.

3) Les enregistrements créés lors de la détermination des résultats de dose doivent être conservés pour une période minimale de 5 ans suivant l'expiration du permis du service de dosimétrie.

4) Il faut établir une documentation et des enregistrements suffisants pendant le travail pour que l'on puisse raisonnablement reproduire et vérifier les résultats à partir des données initiales mises en référence.

5) Les titulaires de permis doivent conserver une liste de tous les dossiers portant sur les activités autorisées. Les périodes pendant lesquelles ces dossiers doivent être conservés seront précisées.

6) Les dossiers doivent être lisibles, aisément repérables et consultables sur demande.

7) Les dossiers doivent être gérés de façon à empêcher la divulgation de renseignements personnels, conformément à la législation pertinente en vigueur.

5.2.15. Vérifications indépendantes

1) La direction doit se doter d'un programme d'audit interne. Le programme d'audit interne a pour objet de permettre à la direction de déterminer si le programme d'assurance de la qualité est mis en œuvre de façon efficace et si, grâce à ce programme, le service de dosimétrie fonctionne de façon satisfaisante. Les audits internes doivent être effectuées à intervalles réguliers.

2) Les audits internes doivent être planifiées et effectuées par un personnel qualifié n'ayant aucune responsabilité directe à l'égard de l'activité auditée.

3) On doit documenter les résultats des vérifications et les faire examiner par le gestionnaire responsable de l'activité évaluée. Cette personne doit prendre les mesures qui s'imposent pour corriger les lacunes observées et leurs causes. Les mesures de suivi doivent également faire l'objet d'une évaluation [voir la section 5.2.13].

Remarque : Pour de plus amples informations, voir la norme CAN/CSA-ISO 19011:03 [5].

6.0 EXIGENCES EN MATIÈRE DE RAPPORT ANNUEL

Dans les 90 jours suivant la fin de l'année civile, le service de dosimétrie autorisé doit soumettre un rapport écrit à la CCSN, dans lequel sont résumées les activités menées pendant l'année civile qui vient de s'achever. Le rapport doit contenir les renseignements suivants, le cas échéant :

1) un résumé des résultats des essais de fonctionnement de routine et spéciaux effectués pendant l'année;
2) une brève description des cas de non-conformité et des mesures correctives qui ont été prises;
3) un résumé des changements apportés dans le personnel technique clé du service de dosimétrie ainsi que dans le personnel chargé de l'assurance de la qualité, y compris à l'échelon de la direction;
4) un résumé de la formation pertinente donnée au personnel du service de dosimétrie;
5) le nombre de dossiers de doses pour lesquels les usagers ont fourni une information incomplète durant l'année [voir l'annexe I] et le nombre total actuel de dossiers, ainsi qu'un résumé des mesures prises pour réduire ce nombre;
6) une liste des appareils importants qui ont été mis en service ou qui ont été retirés du service au cours de l'année, et une mention qu'il n'y a pas eu infraction à la norme d'application de la réglementation S-106, Rév. 1;
7) le nombre approximatif de dosimètres en service;
8) le nombre et le type d'échantillons de biodosage *in vitro* analysés;
9) le nombre et le type de dosages *in vivo* effectués;
10) le nombre et le type de biodosages irréguliers *in vivo*, *in vitro*, ou les deux effectués;
11) un résumé du comportement du système de dosimétrie dans les essais indépendants;
12) de l'information sur les nouvelles initiatives au chapitre de l'assurance de la qualité (résultats des nouveaux essais, des essais différents, ou les deux, relatifs au procédé de dosimétrie).

GLOSSAIRE

Les définitions ci-dessous s'appliquent au présent document. Les termes statistiques qui sont employés dans le document mais qui ne figurent pas dans la liste sont définis dans la norme N13.30 [5] de la Health Physics Society.

Biais relatif moyen, B
Exactitude relative d'un ensemble de relevés (étroitesse de l'accord entre les relevés et la concentration ou l'activité réelle d'un radionucléide dans les échantillons analysés). Le biais relatif moyen se définit comme suit :

$$B = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} B_i$$

où

n = nombre de relevés dans l'ensemble $\frac{A_i - A}{A}$

Bi = biais relatif d'un seul relevé

où

A_i = valeur d'un seul relevé

A = valeur reconnue comme exacte

Biodosage
Mesure de la quantité ou de la concentration de matière radioactive dans le corps, ou dans une matière biologique excrétée et analysée afin de permettre d'évaluer la quantité de matière radioactive présente dans le corps. Le terme « biodosage » s'applique aux relevés *in vitro* et *in vivo*.

CCSN
Commission canadienne de sûreté nucléaire

CIPR
Commission internationale de protection radiologique

CIUMR
Commission internationale des unités et des mesures radiologiques

Coefficient de variation, C
Mesure de la reproductibilité des relevés. Le coefficient de variation est défini comme suit :

$$C = \frac{s}{m}$$

où

s = écart type de l'ensemble des mesures

m = moyenne de l'ensemble des mesures

Concentration minimale mesurable

Plus petite quantité (activité ou masse) d'une substance à analyser qui peut être décelée dans un échantillon. On admet qu'il y a une *probabilité b* que l'on ne détecte pas une certaine quantité de substance à analyser qui est présente (erreur de type II) et une *probabilité a* que l'on décide à tort qu'une quantité positive (non nulle) de substance à analyser est présente (erreur de type I).

DTL
Dosimètre thermoluminescent

Essai de fonctionnement
Essai effectué pour vérifier que le système de dosimétrie fonctionne de manière prévisible et cohérente.

Essai de type
Vaste exercice d'essais effectué pour déterminer toutes les sources éventuelles d'erreur et d'incertitude dans une mesure et pour chiffrer les erreurs et les incertitudes susceptibles de contribuer de façon importante à l'erreur globale ou à l'incertitude type globale.

Essai indépendant
Participation à des essais effectués par le centre de référence en étalonnage approprié. Les essais indépendants aident le service de dosimétrie à faire la preuve que ses résultats sont fiables et qu'ils satisfont aux exigences réglementaires de la CCSN, y compris aux exigences énoncées dans le présent document.

Extrémités
Terme employé pour désigner les parties du corps humain qui sont les plus éloignées de la tête et du torse et qui présentent la même sensibilité aux rayonnements ionisants. Les extrémités comprennent les parties de l'anatomie allant, inclusivement, des coudes aux bouts des doigts (extrémités supérieures) et des genoux aux bouts des orteils (extrémités inférieures).

Grandeur d'influence
Grandeur qui peut influer sur l'exactitude ou l'incertitude d'une mesure.

Niveau minimal d'essai (NME)

La plus petite quantité de matière radioactive que le service de dosimétrie doit être capable de mesurer dans le cadre du programme d'essais indépendants. Les échantillons ou fantômes fournis aux services de dosimétrie qui veulent obtenir un permis ou aux services autorisés qui se soumettent aux essais indépendants doivent contenir au moins le NME pour être considérés comme faisant partie des essais exigés dans la présente norme d'application de la réglementation.

PMMA
Poly(méthacrylate de méthyle)

Précision du biais, P_B
Mesure de la reproductibilité des résultats d'une série de relevés *in vivo* effectués sur tous les fantômes. La précision du biais se définit comme suit :

$$P_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (B_i - B)^2}{n-1}}$$

où

B_i = biais relatif d'un seul relevé;

B = biais relatif moyen;

n = nombre de relevés effectués sur tous les fantômes.

Précision relative, S_B
Mesure de la reproductibilité d'un relevé. La précision relative se définit comme suit :

$$S_B = \frac{s}{A}$$

où

s = écart type d'une série de relevés d'une variable dont on connaît la valeur réelle A

PRLP

Poussière radioactive à longue période

Relevé *in vitro*

Mesure visant à établir la présence, ou à estimer la quantité d'une matière radioactive dans les matières excrétées par le corps ou dans toute autre matière biologique extraite du corps. L'expression « relevé *in vitro* » est synonyme de « biodosage indirect ».

Relevé *in vivo*

Relevé de la présence de matière radioactive dans le corps humain à l'aide d'instruments qui détectent les rayonnements émis par les matières radioactives présentes dans le corps. L'expression « relevé *in vivo* » est synonyme de « biodosage direct ».

Réponse, R
Résultat d'une mesure de dose effectuée dans des conditions définies, qui a été divisée par la valeur reconnue comme exacte de la dose qui serait reçue dans les mêmes conditions.

Service de dosimétrie
Organisme (ou partie d'organisme) chargé d'estimer soit les doses ou les expositions radiologiques pour les travailleurs soumis au contrôle, soit les paramètres relatifs à ces doses ou à ces expositions.

Catégories de service de dosimétrie

Catégorie I : Service ou laboratoire externe ou commercial qui fait des relevés dosimétriques pour un ou plusieurs titulaires de permis délivrés par la CCSN.

Catégorie II : Service interne exploité par un titulaire de permis qui effectue des relevés dosimétriques pour les travailleurs et pour les visiteurs de l'établissement autorisé.

Types de dosimétrie

Dosimétrie externe : normalement utilisée pour les photons (rayons X et gamma), mais peut également servir dans le cas des rayons bêta et des neutrons.

Dosimétrie interne : fondée sur des biodosages par surveillance *in vitro* (analyses de l'urine, des fèces, de l'haleine ou d'autres prélèvements biologiques) ou *in vivo* (mesure directe par des détecteurs externes de la charge de radioactivité de l'organisme ou de certains organes), ou encore par ces deux formes de surveillance à la fois.

Mesure de l'exposition à des atmosphères radioactives : fait habituellement appel à des techniques de surveillance de l'air et sert généralement à mesurer l'exposition à des produits de filiation du radon et à des poussières radioactives dans les mines d'uranium.

SI
Système international d'unités

WL
Unité alpha

WLM
Unité alpha-mois

RÉFÉRENCES

[1] Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR). Rapport 47, *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations*. Bethesda, Maryland, 1992.

[2] Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Publication 60, *Recommandations 1990 de la Commission internationale de protection radiologique*. Oxford : Pergamon Press, 1991 (Annales de la CIPR, vol. 21/1-3).

[4] Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Norme d'application de la réglementation S-260, *Modification des renseignements sur les doses déposés dans le Fichier dosimétrique national.*

[3] Dalheimer, A. et Henrichs, K. « Monitoring of Workers Occupationally Exposed to Thorium in Germany », Radiat. Prot. Dosim., 53(1-4), 207, 1994.

[5] Health Physics Society (HPS). Norme N13.30-1996, *Performance Criteria for Radiobioassay*, McLean, Virginie.

[6] Organisation internationale de normalisation (ISO). *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, 1995.

[7] Hirning, C.R., Yuen, P.S. « Accuracy in External Dosimetry of Ionizing Radiation », Health Phys. 75(2):136-146; 1998.

[8] CIPR. Publication 75, *General Principles for the Radiation Protection of Workers*. Oxford, Pergamon Press, 1982 (Annales de la CIPR, vol. 27/1).

[9] ISO 4037-3:1999 - *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons -- Partie 3 : Étalonnage des dosimètres de surface et dosimètres individuels et détermination de leur réponse en fonction de l'énergie et de l'angle d'incidence.*

[10] Roberson, P.L., Eichner, F.N. et Reece, W.D. « Determination of Photon Conversion Factors Relating Exposure and Dose for Several Extremity Phantom Designs », Health Phys. 57: 733-741; 1989.

[11] Grosswendt, B. « Angular Dependence Factors and Air Kerma to Dose Equivalent Conversion Coefficients for Cylindrical Phantoms Irradiated by Plane-Parallel Extended Monoenergetic Photon Beams », Radiat. Prot. Dosim. 59: 165-179; 1995.

[12] Grosswendt, B. « Angular Dependence Factors and Air Kerma to Dose Equivalent Conversion Coefficients for 1.9 cm Rod and 7.3 cm Pillar Phantoms Irradiated by Extended Monodirectional X Ray Beams », Radiat. Prot. Dosim. 59: 181-193; 1995.

[13] Grosswendt, B. « Air Kerma to Dose Equivalent Conversion Coefficients for Cylindrical Phantoms Irradiated by Extended Plane-Parallel Photon Beams of Oblique Incidence Relative to the Cylinder Main Axis », Radiat. Prot. Dosim. 59: 195-203; 1995.

[14] ISO 12794:2000 - *Énergie nucléaire -- Radioprotection -- Dosimètres individuels thermoluminiscents pour yeux et extrémités.*

[15] ISO 4037-1:1996 - *Rayonnements X et gamma de référence pour l'étalonnage des dosimètres et des débitmètres, et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie des photons -- Partie 1 : Caractéristiques des rayonnements et méthodes de production.*

[16] ISO 6980:1996 - *Rayonnements bêta de référence pour l'étalonnage des dosimètres et débitmètres et pour la détermination de leur réponse en fonction de l'énergie bêta* (disponible en anglais seulement).

[17] Communauté européenne. Rapport EUR 14852 EN, *Technical Recommendations for Monitoring Individuals Occupationally Exposed to External Radiation*, Christensen, P., H.W. Julius et T.O. Marshall. Luxembourg, Commission européenne, 1994.

[18] Strom, Daniel J. et Paul S. Stansbury. « Minimum Detectable Activity when Background is Counted Longer than the Sample », Health Phys. 63(3): 360-361; 1992.

[19] Ballot, G. *Application des méthodes statistiques aux problèmes de la mesure de la radioactivité d'un corps*, dans R. Pannetier et F. Duhamel. Vade-mecum du technicien nucléaire, 2e éd., Massy, S.C.F. du Bastet, 1982, p. D70-D76.

[20] National Radiological Protection Board. NRPB-R113, « Statistical Aspects of the Interpretation of Counting Experiments Designed to Detect Low Levels of Radioactivity », 1981, Sumerling, T.J., Darby, S.C.

[21] Association canadienne de normalisation. CAN/CSA-ISO 9001-00, *Systèmes de management de la qualité – Exigences.*

ANNEXE A
EXACTITUDE ET INCERTITUDE EN DOSIMÉTRIE EXTERNE

A.1 INTRODUCTION

La présente annexe fournit des explications sur la façon de démontrer que les exigences en matière d'exactitude et de précision énoncées dans la présente norme peuvent être respectées. Des exemples de calcul illustrent les méthodes employées pour évaluer les diverses grandeurs.

A.2 VALEUR RECONNUE COMME EXACTE

En principe, la dosimétrie individuelle vise à mesurer l'« équivalent de dose individuel » $H_p(d)$ tel que défini dans le rapport 47 [1] de la Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR). Les valeurs de d sont de 0,07 mm pour la dose superficielle (ou « à la peau ») et de 10 mm pour la dose profonde (ou « au corps entier »). Dans la pratique, on ne peut déterminer la valeur « vraie » d'une grandeur, comme il est expliqué dans la publication de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) intitulée *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* [6]. On compare plutôt le résultat d'une mesure à la « valeur reconnue comme exacte » de la grandeur mesurée afin d'évaluer les erreurs de mesure.

Même s'il était possible d'effectuer une mesure de $H_p(d)$ parfaite, sa définition établirait des valeurs « vraies » attendues différentes pour les personnes de taille et de morphologie différentes qui sont exposées à un même champ de rayonnement photonique. Il ne s'agit donc pas d'une grandeur qui puisse être utilisée pour définir le fonctionnement et les propriétés d'un dosimètre. La mesure parfaite de $H_p(d)$ est donc remplacée par une valeur reconnue comme exacte. Ainsi, dans le cas d'un rayonnement photonique, pour établir la valeur reconnue comme exacte, on mesure le kerma de l'air libre-dans-l'air (ou l'exposition) dans un champ bien défini à l'aide d'un instrument étalonné, puis on applique un coefficient de conversion au résultat. Un modèle informatique calcule le coefficient de conversion pour simuler l'irradiation d'un fantôme type qui correspond, en gros, au torse humain. On suppose que la valeur reconnue comme exacte ainsi obtenue offre une incertitude négligeable par rapport à celle des relevés dosimétriques habituels, et elle sert donc de valeur de référence pour l'estimation des erreurs de mesure dans ces relevés.

A.3 EXACTITUDE ET PRÉCISION

L'information offerte dans la présente section s'appuie sur la méthode élaborée par C. R. Hirning et P. S. Yuen (Hirning et Yuen [7]). Les normes énoncées à la fin de cette section sont basées sur les recommandations énoncées dans les publications 60 [2] et 75 [8] de la CIPR ainsi que sur l'exigence de la CCSN en vertu de laquelle les services de

dosimétrie externe doivent atteindre un rendement qui corresponde à celui que l'on obtient en ayant recours au matériel et aux méthodes d'exploitation les plus récents.

On définit la réponse d'un dosimètre R comme le résultat d'une mesure effectuée dans des conditions définies, H_m, divisé par la valeur reconnue comme exacte de la dose qui serait reçue dans les mêmes conditions, H_c :

$$R = \frac{H_m}{H_c} \tag{1}$$

La réponse moyenne $\bar{R}$ d'un dosimètre dans les conditions voulues d'utilisation peut être exprimée sous la forme d'une fonction séparable, représentée par le produit suivant (Hirning et Yuen [7]) :

$$\bar{R} = R_0 \bar{r}_1 \bar{r}_2 \ldots \bar{r}_q \ldots \bar{r}_{ij} \ldots \bar{r}_k \bar{r}_l \ldots \bar{\bar{r}}_{uv} \ldots \bar{r}_N \tag{2}$$

où

R_0 = réponse de référence du dosimètre, obtenue lorsque toutes les grandeurs d'influence sont maintenues aux valeurs correspondant aux conditions de référence (normalement, les conditions dans lesquelles le dosimètre est étalonné). La réponse relative globale r est définie comme étant égale au rapport R/R_0. On définit la réponse relative r_q applicable à une grandeur d'influence indépendante q comme la réponse relative globale du dosimètre lorsque toutes les grandeurs d'influence, à l'exception de q, sont maintenues aux valeurs correspondant aux conditions de référence;

N = nombre de grandeurs d'influence qui peuvent influer sur la réponse (si deux grandeurs d'influence ou plus ne sont pas indépendantes, on peut les combiner en une grandeur d'influence composée indépendante des autres grandeurs d'influence);

$\bar{r}_q$ = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_q que peut atteindre la q^e grandeur d'influence indépendante;

$\bar{r}_{ij}$ = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_i et x_j que peuvent atteindre les i^e et j^e grandeurs d'influence constituant une grandeur d'influence composée indépendante du premier type introduite lorsque la réponse relative correspondant à cette grandeur d'influence composée indépendante r_{ij} ne peut pas être séparée en réponses relatives indépendantes r_i et r_j, alors que la fonction de probabilité d'occurrence p_{ij} est séparable et exprimée par le produit

des fonctions de probabilité individuelles p_i et p_j qui sont indépendantes l'une de l'autre;

$\overline{\overline{r_k r_l}}$ = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_k et x_l que peuvent atteindre les k^e et l^e grandeurs d'influence constituant une grandeur d'influence composée indépendante du deuxième type introduite lorsque la réponse relative correspondant à cette grandeur d'influence indépendante composée r_{kl} peut être séparée en réponses relatives indépendantes r_k et r_l, alors que la fonction de probabilité d'occurrence p_{ij} n'est pas séparable en fonctions de probabilité indépendantes p_i et p_j;

$\overline{\overline{r_{uv}}}$ = réponse relative moyenne découlant de variations dans les valeurs x_u et x_v que peuvent atteindre les u^e et v^e grandeurs d'influence constituant une grandeur d'influence composée indépendante du **troisième type** introduite lorsque ni la réponse relative r_{uv} ni la probabilité d'occurrence p_{uv} correspondant à cette grandeur d'influence composée indépendante ne peuvent être séparées en réponses relatives individuelles r_u et r_v ou en probabilités d'occurrence indépendantes p_u et p_v.

Si l'on connaît l'effet des variations d'une grandeur d'influence sur la réponse relative du dosimètre et que l'on peut mesurer ou estimer la distribution de probabilité de cette grandeur, la réponse relative moyenne attribuable à cette grandeur d'influence peut se calculer à l'aide des techniques statistiques usuelles, comme il est indiqué ci-dessous.

Dans le cas d'une grandeur d'influence indépendante q, la réponse relative moyenne dans l'équation (2) est égale à :

$$\overline{\overline{r_q}} = \sum_{s=1}^{M_q} r_{q,s}\, p_{q,s} \qquad (3)$$

où

M_q = nombre de réponses relatives mesurées pour la q^e grandeur d'influence;

$r_{q,s}$ = s^e de M_q réponses relatives mesurées correspondant au s^e intervalle dans x_q;

$p_{q,s}$ = probabilité que x_q prenne une valeur comprise dans le s^e intervalle.

Dans le cas d'une grandeur d'influence composée du **premier type**, la réponse relative moyenne est égale à :

$$\overline{\overline{r_{ij}}} = \sum_{s=1}^{M_i} \sum_{t=1}^{M_j} r_{ij,s,t}\, p_{i,s}\, p_{j,t} \qquad (4)$$

où $r_{ij,s,t}$ est une matrice réponse qui dépend des i^e et j^e grandeurs d'influence, et $p_{i,s}$ et $p_{j,t}$ sont des vecteurs probabilité d'occurrence qui sont indépendants l'un de l'autre.

Dans le cas d'une grandeur d'influence composée du **deuxième type**, la réponse relative moyenne est égale à :

$$\overline{r_k r_l} = \sum_{s=1}^{M_k} \sum_{t=1}^{M_l} r_{k,s} r_{l,t} p_{kl,s,t} \tag{5}$$

où $p_{kl,s,t}$ est une matrice probabilité d'occurrence qui dépend des k^e et l^e grandeurs d'influence, et $r_{k,s}$ et $r_{l,t}$ sont des vecteurs réponse relative qui sont indépendants l'un de l'autre.

Dans le cas d'une grandeur d'influence composée du **troisième type**, la réponse relative moyenne est égale à :

$$\overline{\overline{r_{uv}}} = \sum_{s=1}^{M_u} \sum_{t=1}^{M_v} r_{uv,s,t} p_{uv,s,t} \tag{6}$$

où $r_{uv,s,t}$ et $p_{uv,s,t}$ sont des matrices réponse relative et probabilité d'occurrence, respectivement, qui dépendent toutes les deux des grandeurs d'influence u et v.

Les probabilités sont normalisées de telle sorte que :

$$\sum_{s=1}^{M_i} p_{i,s} = 1 \qquad \text{et} \qquad \sum_{t=1}^{M_j} p_{j,t} = 1$$

et

$$\sum_{s=1}^{M_k} \sum_{t=1}^{M_l} p_{kl,s,t} = 1 \quad \text{et} \qquad \sum_{s=1}^{M_u} \sum_{t=1}^{M_v} p_{uv,s,t} = 1$$

Dans le cas particulier où toutes les valeurs de x_i comprises dans l'intervalle des valeurs possibles $[x_i^{min}, x_i^{max}]$ sont également probables, la probabilité est exactement égale à la largeur de l'intervalle $\Delta x_{i,s}$ divisée par la largeur de l'intervalle :

$$p_{i,s} = \frac{\Delta x_{i,s}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}} \tag{7}$$

On peut également estimer les probabilités de cette façon lorsqu'on ne dispose pas de données sur les probabilités réelles.

La variance u^2 des réponses mesurées par rapport à la réponse moyenne peut aussi être calculée à l'aide des techniques statistiques usuelles; sa racine carrée positive donne l'incertitude type de la réponse du dosimètre, u. L'expression générale de la variance de la réponse est alors la suivante :

$$u^2 = R_0^2 \overline{r_1^2 r_2^2} \cdots \overline{r_q^2} \cdots \overline{r_{ij}^2} \cdots \overline{r_k^2 r_l^2} \cdots \overline{\overline{r_{uv}^2}} \cdots \overline{r_N^2} - (\overline{R})^2 \tag{8}$$

Dans cette équation, les facteurs liés aux réponses relatives qui dépendent des grandeurs d'influence individuelles sont donnés par l'équation suivante :

$$\overline{r_{iq}^2} = \sum_{s=1}^{M_q} r_{q,s}^2 p_{q,s} \tag{9}$$

Les termes de l'équation (8) qui font intervenir des grandeurs d'influence composées du premier type deviennent alors :

$$\overline{r_{ij}^2} = \sum_{s=1}^{M_i} \sum_{t=1}^{M_j} r_{ij,s,t}^2 p_{i,s} p_{j,t} \tag{10}$$

De même, le terme de l'équation (8) correspondant à la grandeur d'influence composée du deuxième type est égal à :

$$\overline{r_k^2 r_l^2} = \sum_{s=1}^{M_k} \sum_{t=1}^{M_l} r_{k,s}^2 r_{l,t}^2 p_{kl,s,t} \tag{11}$$

et le terme de l'équation (8) correspondant à la grandeur d'influence composée du troisième type est égal à :

$$\overline{\overline{r_{in}^2}} = \sum_{s=1}^{M_n} \sum_{t=1}^{M_n} r_{in,s,t}^2 p_{in,s,t} \tag{12}$$

Outre l'incertitude type de la réponse, il existe une incertitude relative statistique u_s imputable aux erreurs aléatoires du procédé de mesure. On détermine la grandeur de cette incertitude par une évaluation du type A (ISO, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* [6]). L'incertitude type globale d'un même relevé dosimétrique est alors la suivante :

$$u_c = \overline{\overline{R}} \sqrt{\left(\frac{u}{\overline{\overline{R}}}\right)^2 + u_s^2} \tag{13}$$

Selon ces définitions, la norme générale d'exactitude et de précision est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{I}{\rho} \leq \overline{\overline{R}} \pm 2u_c \leq \rho \tag{14}$$

où

ρ = 1,5 pour d = 10 mm et 4 mSv $\leq H_{p,c}(10) \leq$ 10 Sv

= 2 pour d = 10 mm et $H_{p,c}(10)$ = 0,4 mSv

= 1,5 pour d = 0,07 mm et 100 mSv $\leq H_{p,c}(0,07) \leq$ 10 Sv

= 2 pour d = 0,07 mm et $H_{p,c}(0,07)$ = 10 mSv

= 3 pour 100 mSv < Hc,c < 10 Sv

$= 3$ pour $H_{e,c} = 10$ mSv

L'incertitude type globale u_c est multipliée par un facteur de couverture de 2 pour dégager un intervalle d'incertitude des mesures individuelles de R correspondant à un niveau de confiance d'environ 95 %. La section A.4A offre un exemple pratique du calcul décrit ci-dessus.

A.4. EXEMPLES DE CALCULS

A.4.1 Introduction

Lorsqu'on analyse l'incertitude de la réponse d'un dosimètre, on doit commencer par décider du nombre N de grandeurs d'influence dont il convient de tenir compte. Ces grandeurs d'influence seront celles qui influent de manière importante sur la réponse du dosimètre, telles que l'énergie, l'angle d'incidence, la température et l'humidité, entre autres. Chaque grandeur d'influence devrait être traitée comme une variable statistique, représentée par :

x_i où $i = 1,2, \ldots, N$

Par exemple, x_2 représente toutes les valeurs comprises entre une limite inférieure et une limite supérieure que la grandeur d'influence numéro 2 peut prendre; en d'autres termes, x_2 représente la grandeur d'influence numéro 2. Ensuite, on doit regrouper les N grandeurs d'influence en grandeurs d'influence indépendantes individuelles, composées du premier type, composées du deuxième type ou composées du troisième type, afin que la réponse du dosimètre devienne une fonction séparable de ces grandeurs d'influence indépendantes, que l'on pourra exprimer sous la forme d'un produit de réponses relatives. La fonction est séparable si, pour chaque grandeur d'influence indépendante regroupée, la variation fractionnaire de la réponse relative globale dans des conditions autres que les conditions de référence (voir le glossaire) imputable à une variation de la grandeur d'influence en question est indépendante des autres grandeurs d'influence regroupées (Hirning et Yuen [7] - Appendix).

Une grandeur d'influence indépendante individuelle x_q consiste en une seule grandeur d'influence, de telle sorte que la réponse relative globale puisse effectivement être représentée par une fonction séparable. La linéarité de la dose d'un dosimètre thermoluminiscent (DTL) constitue un exemple de grandeur d'influence indépendante individuelle. Dans cet exemple, la réponse du DTL tend à augmenter lorsque la dose absorbée dans le dosimètre augmente pour atteindre une valeur élevée de plusieurs grays. L'accroissement de la réponse du dosimètre ne dépend pas de la source de photons (énergie photonique) à l'origine de la dose absorbée ni de quelque autre grandeur d'influence.

Une grandeur d'influence composée est constituée d'un sous-ensemble des N grandeurs d'influence pour lesquelles on considère que, comme dans le cas d'une grandeur

d'influence indépendante individuelle, la variation fractionnaire dans la réponse relative globale dépend seulement de cette grandeur d'influence indépendante composée.

Une grandeur d'influence composée du premier type est constituée des grandeurs d'influence x_i et x_j (le nombre peut être supérieur à deux). La réponse relative peut être exprimée sous la forme d'une fonction de x_i et x_j non séparable et, alors, sous forme discrète, cette réponse consiste en une matrice dont les éléments sont linéairement indépendants les uns des autres. En revanche, la probabilité d'occurrence p_{ij} est séparable en fonctions de probabilité indépendantes p_i et p_j. La combinaison de l'énergie photonique et de l'angle d'incidence (« énergie-angle » ou « *E-θ* ») constitue un exemple de grandeur d'influence composée du premier type. L'énergie-angle est une grandeur d'influence composée du premier type parce que la réponse relative du dosimètre dépend à la fois de l'énergie et de l'angle et parce qu'elle n'est pas séparable. Dès lors, la réponse relative, sous forme discrète, doit être exprimée sous la forme d'une matrice bidimensionnelle $r_{E\theta}$ dont les éléments sont linéairement indépendants les uns des autres. Par contre, la fonction de probabilité d'occurrence est séparable en deux fonctions de probabilité indépendantes p_E et p_θ puisqu'il n'y a pas de corrélation entre l'énergie et l'angle.

Une grandeur d'influence composée du deuxième type est constituée des grandeurs d'influence x_k et x_l. La réponse relative du dosimètre est représentée par une fonction séparable et, alors, sous forme discrète, elle consiste en deux vecteurs indépendants (par opposition à une matrice), chaque vecteur dépendant de seulement une grandeur d'influence, x_k ou x_l. En revanche, la fonction de probabilité d'occurrence p_{kl} n'est pas séparable. La combinaison de l'humidité et de la température (*H-T*) constitue un exemple de grandeur d'influence composée de deuxième type. La réponse relative du dosimètre est séparable en deux fonctions de réponse relative indépendantes r_H et r_T parce que la variation fractionnaire de la réponse relative imputable à une variation de l'une quelconque des grandeurs d'influence est indépendante de l'autre grandeur. Par contre, la fonction de probabilité d'occurrence n'est pas séparable parce que l'humidité relative dépend de la température. Sous forme discrète, cette fonction est représentée par une matrice p_{HT}.

Une grandeur d'influence composée du troisième type est constituée des grandeurs d'influence x_m et x_n de telle sorte que ni la réponse relative r_{mn} ni la fonction de probabilité d'occurrence p_{mn} ne sont séparables. Dès lors, sous forme discrète, aussi bien la réponse relative r_{mn} que la probabilité d'occurrence p_{mn} consistent en une matrice bidimensionnelle dont les éléments sont linéairement indépendants les uns des autres. Aucun exemple ne sera présenté, car il est très rare de rencontrer une telle grandeur d'influence composée en dosimétrie externe.

La section suivante offre des exemples de calcul.

A.4.2 Calculs

La présente section offre des exemples de calcul de la réponse moyenne et de l'incertitude type globale à partir de données hypothétiques. Pour simplifier, on suppose que seulement cinq grandeurs d'influence ont un effet important sur la réponse du dosimètre et l'exemple est limité aux champs photoniques. Les cinq grandeurs d'influence sont les suivantes : énergie photonique, angle d'incidence des photons, humidité relative, température et dose (linéarité de la dose dans le dosimètre). Les cinq grandeurs d'influence sont regroupées comme suit : une grandeur d'influence individuelle (dose); une grandeur d'influence composée du premier type (énergie-angle) et une grandeur d'influence composée du deuxième type (humidité-température). On suppose que le dosimètre sera utilisé dans une centrale nucléaire.

A.4.2.1 Énergie photonique et angle d'incidence

La première étape consiste à mesurer la réponse relative pour des gammes d'énergies et d'angles représentatives des gammes auxquelles on peut s'attendre dans la centrale. Les autres grandeurs d'influence demeurent constantes et égales aux valeurs de référence. Les résultats sont présentés sous la forme d'une matrice r_{ij} ou $r_{E\theta}$, comme le montre le tableau A.1.

Tableau A.1 - Réponse relative mesurée (hypothétique) $r_{E\theta,s,t}$ en fonction de l'énergie photonique et de l'angle d'incidence -- Conditions de référence : rayonnement gamma émis par le ^{137}Cs à incidence normale

Énergie (E)		Angle (θ)				
		Indice, t				
		1	2	3	4	5
		Valeur (degrés)				
Indice, s	Valeur (keV)	0	20	40	60	80
1	33	0,85	0,84	0,82	0,80	0,75
2	48	0,97	0,97	0,96	0,94	0,89
3	65	1,08	1,08	1,07	1,05	1,00
4	83	1,16	1,16	1,15	1,13	1,09
5	100	1,14	1,14	1,13	1,12	1,08
6	118	1,10	1,10	1,10	1,09	1,05
7	164	1,08	1,08	1,08	1,07	1,03
8	208	1,05	1,05	1,05	1,04	1,00
9	250	1,02	1,02	1,02	1,01	0,98
10	662	1,00	1,00	1,00	0,99	0,96
11	1250	0,95	0,95	0,95	0,94	0,92

Ensuite, on définit les intervalles d'énergie et d'angle correspondant à chaque point de mesure et on évalue la probabilité d'exposition dans chaque intervalle. Les résultats sont présentés dans les tableaux A.2 et A.3. Il est possible que l'énergie et l'angle d'incidence soient en corrélation en un point particulier et pour une orientation donnée, mais le fait de se déplacer dans le champ aura pour conséquence globale de réduire considérablement toute corrélation; dès lors, les deux grandeurs d'influence peuvent être traitées comme des grandeurs non corrélées.

Tableau A.2 - Intervalles d'énergie et probabilité estimée $p_{E,s}$ de recevoir une dose dans chaque intervalle

Indice, s	E (keV)	Intervalle (keV)	Probabilité $p_{E,s}$
1	33	0-40	0,01
2	48	41-55	0,01
3	65	56-74	0,03
4	83	75-91	0,05
5	100	92-109	0,05
6	118	110-141	0,05
7	164	142-186	0,05
8	208	187-229	0,05
9	250	230-450	0,25
10	662	451-950	0,30
11	1 250	951-1 500	0,15
		Somme	1,00

Tableau A.3 - Intervalles d'angle d'incidence et probabilité estimée $p_{\theta,t}$ de recevoir une dose dans chaque intervalle

Indice, t	θ (degrés)	Intervalle (degrés)	Probabilité $p_{\theta,t}$
1	0	0-10	0,20
2	20	11-30	0,30
3	40	31-50	0,30
4	60	51-70	0,10
5	80	71-90	0,10
		Somme	1,00

La réponse relative moyenne pour la gamme des énergies-angles considérée est donnée par l'équation (4)[2]; elle peut être calculée à partir des réponses relatives indiquées dans le tableau A.1 et des distributions de probabilité données dans les tableaux A.2 et A.3, en utilisant la multiplication matrice. Si l'on remplace i par E, j par θ, M_i par 11 et M_j par 5, l'équation (4) devient :

$$\overline{r_{E\theta}} = \sum_{s=1}^{s=11} \sum_{t=1}^{t=5} r_{E\theta,s,t}\, p_{E,s}\, p_{\theta,t} \qquad (4A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_{E\theta}} = 1{,}018$$

De même, lorsqu'on élève au carré les éléments de la matrice réponse, l'équation (10) devient :

$$\overline{r^2_{E\theta}} = \sum_{s=1}^{s=11} \sum_{t=1}^{t=5} r^2_{E\theta,s,t}\, p_{E,s}\, p_{\theta,t} \qquad (10A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r^2_{E\theta}} = 1{,}041$$

A.4.2.2 Humidité relative et température

On suppose que ces deux grandeurs d'influence influent sur la réponse du dosimètre de manière indépendante. On peut donc mesurer les réponses relatives pour une série de valeurs de chaque grandeur, tout en maintenant l'autre grandeur constante et égale à sa valeur de référence. Là encore, on définit des intervalles pour chacune des valeurs mesurées, afin de couvrir toute la gamme des valeurs de la grandeur auxquelles le dosimètre peut être exposé. Les points de mesure, les intervalles correspondants et les réponses relatives sont présentés dans les tableaux A.4 et A.5.

Tableau A.4 – Réponse relative mesurée $r_{H,s}$ en fonction de l'humidité relative H, avec une valeur de référence de 50 %

Indice, s	H (%)	Intervalle (%)	Réponse relative $r_{H,s}$
1	40	0-50	1,00
2	60	51-70	0,99
3	80	71-90	0,98
4	95	91-100	0,95

[2] Les équations mentionnées dans la présente section sont explicitées dans la section A.3 de la présente annexe.

Tableau A.5 - Réponse relative mesurée $r_{T,t}$ en fonction de la température T, avec une valeur de référence de 20 °C

Indice, t	T °C	Intervalle °C	Réponse relative $r_{T,t}$
1	-10	(-15)-(-5)	1,05
2	0	(-6)-(5)	1,03
3	10	6-15	1,01
4	20	16-25	1,00
5	30	26-35	0,99
6	40	36-45	0,95
7	50	46-55	0,90

Étant donné que la température et l'humidité relative sont en corrélation dans le milieu de travail, on doit estimer une matrice probabilité p_{HT}, comme il est indiqué dans le tableau A.6.

Tableau A.6 - Probabilité d'occurrence relative estimée $p_{HT,s,t}$ dans le milieu de travail pour chaque combinaison de intervalles de température et d'humidité relative

		Température							
		Indice, t							
		1	2	3	4	5	6	7	
Humidité		Intervalle (°C)							
Indice, s	Intervalle (%)	(-15)-(-5)	(-6)-(5)	6-15	16-25	26-35	36-45	46-55	Somme
1	0-50	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
2	51-70	0,00	0,00	0,11	0,30	0,05	0,00	0,00	0,46
3	71-90	0,00	0,00	0,00	0,25	0,15	0,03	0,00	0,43
4	91-100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	0,07
									1,00

Lorsqu'on remplace k par H, l par T, M_k par 4 et M_l par 7, l'équation (5) devient :

$$\overline{r_H r_T} = \sum_{s=1}^{s=4} \sum_{t=1}^{t=7} r_{H,s} r_{T,t} p_{HT,s,t} \qquad (5A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_H r_T} = 0{,}980$$

De même, l'équation (11) devient :

$$\overline{r_H^2 r_T^2} = \sum_{s=1}^{s=4} \sum_{t=1}^{t=7} r_{H,s}^2 r_{T,t}^2 p_{HT,s,t} \qquad (11A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_H^2 r_T^2} = 0{,}961$$

A.4.2.3 Linéarité de la dose

Dans le cas plus simple d'une grandeur d'influence indépendante individuelle, les réponses relatives r_q et les probabilités d'occurrence correspondantes p_q peuvent être représentées par des vecteurs indépendants, comme il est indiqué dans le tableau A.7.

Tableau A.7 - Réponse relative mesurée $r_{D,s}$ à un accroissement de la dose (linéarité) et probabilité estimée $p_{D,s}$ de recevoir une dose dans chaque intervalle

(La valeur de référence est de 10 mSv)				
Indice, *s*	**Dose, *D*** (mSv)	**Intervalle, *q*** (mSv)	**Réponse relative** $r_{D,s}$	**Probabilité** $p_{D,s}$
1	0,1	0-0,2	1,05	0,900
2	0,5	0,2-0,7	1,02	0,050
3	1,0	0,7-2,0	1,00	0,030
4	5,0	2,0-7,0	1,00	0,010
5	10	7-20	1,00	0,009
6	50	20-70	1,00	0,001
7	100	70-200	1,00	0,000
8	500	200-700	1,00	0,000
9	1 000	700-1 500	1,02	0,000
10	2 000	1 500-3 000	1,05	0,000
11	4 000	3 000-5 000	1,08	0,000
12	6 000	5 000-7 000	1,11	0,000
13	8 000	7 000-9 000	1,15	0,000
14	10 000	9 000-11 000	1,20	0,000
				1,000

Dans ce cas, lorsqu'on remplace q par D et M_q par 14, l'équation (3) devient :

$$\bar{r}_D = \sum_{s=1}^{s=14} r_{D,s} p_{D,s} \qquad (3A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_D} = 1{,}046$$

De même, l'équation (9) devient :

$$\overline{r_D^2} = \sum_{s=1}^{s=14} r_{D,s}^2 p_{D,s} \qquad (9A)$$

ce qui donne :

$$\overline{r_D^2} = 1{,}094$$

A.4.2.5 Réponse moyenne et incertitude globale

Si le dosimètre a été étalonné de manière à ce qu'il indique la valeur reconnue comme exacte de la dose dans les conditions de référence, $R_0 = 1$. On peut maintenant exprimer l'équation (2) sous la forme suivante :

$$\overline{R} = I * \overline{r_D} * \overline{r_{E\theta}} * \overline{r_H r_T} \qquad (2A)$$

En utilisant cette valeur et les résultats des sections précédentes dans l'équation (2A), on

$$\overline{R} = 1{,}044$$

obtient une réponse moyenne égale à :

La variance de la réponse est donnée par l'équation (8) qui peut être réécrite sous la forme suivante :

$$u^2 = I^2 * \overline{r_D^2} * \overline{r_{E\theta}^2} * \overline{r_H^2 r_T^2} - (\overline{R})^2 \qquad (8A)$$

ce qui donne :

$$u^2 = 0{,}0045$$

Une série de mesures répétées à des doses supérieures à 4 mSv, avec les cinq grandeurs d'influence maintenues constantes et égales aux conditions de référence, présente une incertitude relative statistique u, de 10 %. Cette incertitude peut être considérée comme une incertitude de type A due aux erreurs aléatoires.

En combinant l'incertitude type de la réponse et l'incertitude relative statistique donnée par l'équation (13), on obtient l'incertitude type globale d'une mesure individuelle suivante :

$$u_c = 1{,}044 \sqrt{\frac{0{,}0045}{(1{,}044)^2} + (0{,}1)^2}$$

$$= 0{,}124$$

Les limites supérieure et inférieure définies par l'équation (14) sont alors (0,80; 1,29); elles se situent à l'intérieur des limites exigées de (0,67; 1,5) correspondant à $\rho = 1,5$.

Pour une dose de 0,4 mSv, on doit avoir $\rho = 2$. Dans ces conditions, la réponse relative moyenne et l'incertitude de la réponse seront probablement les mêmes que pour des doses plus élevées. L'incertitude imputable aux erreurs aléatoires représente la composante de l'incertitude globale qui risque d'augmenter et elle doit donc être déterminée séparément à cette dose plus faible.

ANNEXE B
NORMES RELATIVES AUX ESSAIS DE TYPE EN DOSIMÉTRIE EXTERNE

B.1 INTRODUCTION

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, le service de dosimétrie doit procéder à des essais de type, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.4. Si les dosimètres couramment utilisés risquent d'être exposés à des conditions autres que celles mentionnées ici, mais qui peuvent influer sur le résultat d'un relevé de dose, ces conditions doivent être définies et incluses dans les essais de type, en plus de celles qui sont énoncées ci-dessous.

Dans toute la mesure du possible, on doit corriger toute erreur introduite par une grandeur d'influence en appliquant un facteur de correction au calcul de H_m (le résultat d'une mesure dans des conditions définies) de manière à ce que la réponse relative moyenne pour cette grandeur d'influence prenne une valeur qui soit le plus près possible de l'unité. Néanmoins, il peut arriver qu'il soit impossible ou non souhaitable d'appliquer un facteur de correction pour une grandeur d'influence particulière. Dans ce cas, il faudra inclure l'erreur introduite par la grandeur d'influence dans la détermination de la réponse moyenne.

B.2 GRANDEURS D'INFLUENCE ET CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME

Le service de dosimétrie doit évaluer, parmi les grandeurs d'influence, celles qui peuvent avoir un effet marqué sur l'exactitude ou l'incertitude. Lorsqu'on évalue l'importance éventuelle des grandeurs d'influence, on doit tenir compte tant de la conception du système dosimétrique que des conditions prévues d'utilisation. Les grandeurs d'influence à considérer sont les suivantes :

1) l'angle d'incidence du rayonnement;
2) la distance entre le dosimètre et le fantôme;
3) la dose (c'est-à-dire, la linéarité de la réponse de dose);
4) le débit de dose, y compris dans des champs de rayonnement pulsés;
5) les champs électromagnétiques tant statiques qu'alternatifs;
6) l'énergie des photons et des rayons bêta;
7) l'humidité et les éclaboussements;
8) les rayonnements ionisants autres que ceux que l'on entend mesurer;
9) les chocs mécaniques (chutes et vibrations du dosimètre);
10) les champs de rayonnement mixtes;
11) les variations de température tant progressives qu'abruptes;
12) le temps écoulé entre le pointage à zéro et l'irradiation, ainsi qu'entre l'irradiation et la lecture;
13) le flux de lumière visible et de rayons ultraviolets (effet tant sur le dosimètre que sur le lecteur);

14) la tension d'alimentation au lecteur (surtensions et variations progressives).

Le service de dosimétrie doit également estimer, le cas échéant, les effets des caractéristiques suivantes du système :

1) l'homogénéité des lots;
2) l'incertitude d'étalonnage;
3) la reproductibilité (mesure de la stabilité de la réponse tant du dosimètre que du lecteur);
4) le signal résiduel;
5) l'auto-irradiation;
6) les variations dose-zéro.

S'il est établi qu'une grandeur d'influence ou une caractéristique du système risque de causer une variation ample et soudaine de la dose mesurée, mais avec un bas niveau de probabilité, il conviendra de ne pas inclure cette variation dans l'incertitude type globale. On devra plutôt réduire au minimum les probabilités que cette grandeur cause l'effet considéré, soit en modifiant la conception du dosimètre, soit en instaurant des contrôles de procédure. On estimera ensuite les probabilités réduites d'apparition d'un tel effet.

B.3 FANTÔMES

Pendant l'irradiation, on doit monter les dosimètres sur un fantôme approprié pour effectuer des essais de type des grandeurs d'influence suivantes : l'angle d'incidence du rayonnement, la distance entre le dosimètre et le fantôme et l'énergie des photons et des rayons bêta. Pour les essais d'autres grandeurs d'influence exigeant une irradiation, on peut avoir recours à toute géométrie radiative jugée commode pourvu que l'on connaisse les doses relatives aux dosimètres avec un degré de précision convenant aux essais considérés. On peut rapporter le signal produit par les dosimètres dans ces essais à la dose correspondante reconnue comme exacte en utilisant les résultats des irradiations sur fantôme.

Pour les dosimètres qui doivent être portés pendant des irradiations du torse (corps entier), le fantôme des irradiations photoniques est un parallélépipède (« plaque ») à parois de PMMA, c.-à-d. poly(méthacrylate de méthyle), et à charge d'eau (ISO 4037-3 [9]). Les dimensions extérieures sont de 30 cm x 30 cm x 15 cm et l'épaisseur des parois est de 2,5 mm pour la face antérieure (une des parois de 30 cm x 30 cm) et de 10 mm pour les cinq autres parois. On doit construire le fantôme de manière à ce que la face antérieure demeure plate quand on le remplit d'eau. Le fantôme des irradiations bêta peut être cette même plaque à charge d'eau qui vient d'être décrite. On peut également utiliser une plaque pleine en PMMA offrant les mêmes dimensions de parois et une épaisseur supérieure à la moitié du parcours des particules bêta les plus énergiques.

Pour les dosimètres d'extrémités, les fantômes doivent être des représentations appropriées du point de vue radiologique des parties des extrémités où les dosimètres seront portés. Il s'agit habituellement des doigts, des poignets et des chevilles. Les fantômes doivent convenir à la fois à la conception du dosimètre et à l'environnement radiologique dans lequel ils seront utilisés. Deux fantômes possibles sont décrits

ci-dessous. Le service de dosimétrie doit consulter la CCSN avant d'utiliser d'autres fantômes.

Doigt : cylindre plein en PMMA de 19 mm de diamètre et 300 mm de longueur (Roberson [10]; Grosswendt [11], [12], [13]; ISO 12794[14]).

Poignet/cheville : cylindre en PMMA à charge d'eau présentant un diamètre extérieur de 73 mm, une épaisseur de paroi de 2,5 mm et une longueur de 300 mm (ISO 12794[14]).

Les ouvrages de référence mentionnés fournissent les coefficients de conversion entre le kerma de l'air et la dose correspondants. On peut également consulter des ouvrages plus récents offrant une information à jour, à mesure qu'ils deviennent disponibles. Toutefois, le service de dosimétrie doit consulter la CCSN avant d'utiliser d'autres ouvrages de référence.

B.4 ANGLE D'INCIDENCE DU RAYONNEMENT

Pour les dosimètres qui sont irradiés sur le fantôme-plaque à charge d'eau décrit ci-dessus, les rayonnements d'essai doivent avoir, sur la face du dosimètre, un angle d'incidence de 0°, $\pm 20^{\circ}$, $\pm 40^{\circ}$ et $\pm 60^{\circ}$ par rapport à l'incidence normale. Si la conception du dosimètre donne une réponse angulaire à symétrie cylindrique autour de l'axe perpendiculaire à la face, il suffira d'effectuer les mesures, en un seul sens, dans un même plan (il faudra donc 4 mesures). À défaut de symétrie cylindrique, il sera peut-être nécessaire d'effectuer les mesures, dans les deux sens, dans deux plans perpendiculaires (ce qui pourrait représenter jusqu'à 13 mesures) si on entend caractériser convenablement la réponse angulaire du dosimètre. Dans ce dernier cas, on calculera la réponse moyenne pour chaque angle et cette valeur deviendra la réponse propre à cet angle.

Pour les dosimètres d'extrémités, les rayonnements d'essai doivent avoir, sur la face antérieure du dosimètre, un angle d'incidence de 0°, 20°, 40° et 60° par rapport à l'incidence normale dans deux plans perpendiculaires (il faudra donc au moins 7 mesures; si le dosimètre ne présente pas de symétrie cylindrique, le nombre de mesures peut s'élever à 13). On calcule la réponse moyenne pour chaque angle et cette valeur devient la réponse propre à cet angle.

B.5 ÉNERGIES PHOTONIQUES

Pour tous les types de dosimètres, les énergies photoniques utilisées pour les irradiations d'essai doivent être conformes à la norme internationale ISO 4037-1 [15]. On a calculé et publié des coefficients de conversion du kerma de l'air (ou de l'exposition) en $H_{p,x}(d)$ pour ces spectres d'énergie (voir la norme ISO 4037-3 [9]). Les calculs valent pour un fantôme type de la Commission internationale des unités et des mesures radiologiques (CIUMR), consistant en une plaque en tissu dont les dimensions correspondent à celles du fantôme à charge d'eau qui a été décrit ci-dessus. La différence de rétrodiffusion entre les fantômes en tissu de la CIUMR et les fantômes à charge d'eau est assez faible pour être considérée

comme négligeable. On a calculé et publié des coefficients de conversion du kerma de l'air en $H_{e,c}$ sur des fantômes cylindriques (ISO 12794 [14]). Dans le cas où l'énergie photonique est élevée, il se peut qu'il soit nécessaire d'ajouter une épaisseur de matériau devant le dosimètre pour mesurer $H_{p,c}(0,07)$ et $H_{e,c}$, afin de maintenir l'équilibre des particules chargées.

B.6 ÉNERGIES BÊTA

On doit utiliser les sources bêta standard indiquées dans le tableau B.1 pour les essais de type des dosimètres servant à mesurer $H_p(0,07)$ et H_e :

Tableau B.1 - Sources bêta standard

Isotope	Énergie bêta maximale (keV)
$^{90}Sr/^{90}Y$	2274
^{85}Kr ou ^{204}Tl	763 ou 687
^{147}Pm	225

Remarque : Pour les énergies bêta intermédiaires, on utilisera soit ^{85}Kr ou ^{204}Tl.

La norme ISO 6980 [16] offre d'autres indications au sujet de ces sources, à l'exception du ^{85}Kr. Le fabricant de la source fournira les renseignements nécessaires au sujet du ^{85}Kr. Ces sources sont disponibles sur le marché avec des étalonnages traçables pour une irradiation à incidence normale. Dans le cas des dosimètres d'extrémités irradiés à des angles d'incidence autres que l'incidence normale, on peut utiliser les facteurs de dépendance angulaire pour un fantôme-plaque équivalent en tissu. Les coefficients de conversion normalisés à 0° pour $H_p(0,07)$ ont été publiés pour d'autres angles d'incidence (voir, par exemple, le rapport EUR 14852 EN de la Communauté européenne [17]).

La mesure précise de $H_p(0,07)$ et H_e pour le rayonnement bêta devient de plus en plus difficile à obtenir au fur et à mesure que diminue l'énergie bêta et qu'augmente l'angle d'incidence. La norme générale indiquée dans la section 4.1.2 et dans le tableau 1 s'appliquera donc ainsi :

Rayonnement bêta $^{90}Sr/^{90}Y$:
La norme doit être respectée à tous les angles d'incidence indiqués dans la section B.4 de la présente annexe.

Rayonnement bêta ^{85}Kr ou ^{204}Tl :
La norme ne doit être respectée qu'à 0° et la réponse aux autres angles indiqués dans la section B.4 de la présente annexe doit être mesurée.

Rayonnement bêta ^{147}Pm :
La réponse aux angles indiqués dans la section B.4 de la présente annexe doit être mesurée.

On établit séparément les réponses relatives moyennes et les incertitudes types pour les photons et les rayons bêta aux fins de comparaison avec les exigences définies par l'équation (14) [voir la section A.3 de l'annexe A].

ANNEXE C
NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE PHOTONIQUE EXTERNE

C.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.6.

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre directement des arrangements avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J). Les services qui utilisent des dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des dosimètres thermoluminescents [DTL], par exemple) devront suivre le protocole décrit dans la section C.2. Ceux qui emploient des dosimètres n'exigeant pas de traitement (des dosimètres électroniques, par exemple) appliqueront plutôt le protocole décrit dans la section C.3 ci-dessous. Bien que, dans la section C.3, on cite des unités de kerma de l'air, les services de dosimétrie peuvent choisir des unités correspondantes d'exposition, s'ils le préfèrent, après avoir consulté le personnel du centre de référence en étalonnage.

C.2 Protocole relatif aux dosimètres devant faire l'objet d'un traitement

1) S'il y a lieu, le service de dosimétrie doit établir un facteur de conversion de $H_p(10)$ (selon les mesures de dosimètres sur fantôme) au kerma de l'air libre-dans-l'air (ou à l'exposition libre-dans-l'air) produit par un rayonnement gamma au ^{60}Co. Cette opération est nécessaire, puisque le centre de référence en étalonnage fait des irradiations libres-dans-l'air.

2) Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins à tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage au moins 50 dosimètres désignés par unité de traitement examinée, plus un nombre suffisant de dosimètres de contrôle pour la procédure de relevé. Pour chaque unité soumise à des essais, le personnel du centre d'étalonnage répartira les dosimètres remis en au moins 10 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun et il soumettra chacun de ces groupes de dosimètres à une irradiation libre-dans-l'air, avec un faisceau photonique au ^{60}Co selon des valeurs différentes, mais connues, de kerma de l'air situées entre 1,0 mGy et 50 mGy. Le kerma reçu par les dosimètres ne sera pas révélé à ce moment-là au service de dosimétrie.

3) On renverra les dosimètres de contrôle et les dosimètres irradiés au service de dosimétrie pour qu'ils soient traités suivant la procédure de routine qui y est appliquée. Le service communiquera alors les résultats en unités de kerma de l'air au centre de référence en étalonnage, après les avoir corrigés, s'il y a lieu, à l'aide du facteur indiqué dans le paragraphe (1).

4) Le centre de référence en étalonnage comparera les résultats déclarés à ses propres valeurs du kerma de l'air. Les résultats (les valeurs du service et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN par le centre de référence, avec copie au service de dosimétrie. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6.

C.3 Protocole relatif aux dosimètres n'exigeant pas de traitement

1) S'il y a lieu, le service de dosimétrie qui utilise des dosimètres n'exigeant pas de traitement doit établir un facteur de conversion de $H_p(10)$ (selon les mesures de dosimètres sur fantôme) au kerma de l'air libre-dans-l'air (ou l'exposition libre-dans-l'air) produit par un rayonnement gamma au ^{60}Co. Cette opération est nécessaire, puisque le centre de référence en étalonnage fait des irradiations libres-dans-l'air.

2) Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins à tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit envoyer au moins 10 dosimètres désignés au centre de référence en étalonnage. Le personnel du centre d'étalonnage soumettra au moins 10 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun à une irradiation libre-dans-l'air, avec un faisceau photonique au ^{60}Co selon des valeurs différentes, mais connues, de kerma de l'air situées entre 1,0 mGy et 50 mGy. Les dosimètres de chaque groupe de 5 seront exposés soit au même kerma de l'air soit à des kermas de l'air différents, mais dans un même intervalle de valeurs. Au total, il y aura au moins 50 relevés consignés par le personnel du centre de référence en étalonnage. Du fait du nombre de dosimètres soumis à l'essai, un dosimètre pourra être irradié plusieurs fois.

3) Le personnel du centre de référence en étalonnage corrigera les relevés dosimétriques à l'aide des facteurs de conversion établis en 1) ci-dessus et comparera les résultats aux valeurs de kerma de l'air du centre d'étalonnage. Les résultats (les valeurs du service et celles du centre d'étalonnage) seront communiqués à la CCSN, à l'adresse indiquée ci-dessous, par le centre de référence en étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Les dosimètres seront renvoyés au service de dosimétrie lorsque toutes les irradiations auront été effectuées. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6.

C.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE D
NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE DES EXTRÉMITÉS

D.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.6.

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre directement des arrangements avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J). Les services qui utilisent des dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des dosimètres thermoluminescents [DTL], par exemple) devront suivre le protocole décrit dans la section D.2. Ceux qui emploient des dosimètres n'exigeant pas de traitement (des dosimètres électroniques, par exemple) appliqueront plutôt le protocole décrit dans la section D.3 ci-dessous.

D.2 Protocole relatif aux dosimètres devant faire l'objet d'un traitement

1) Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins à tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage au moins 25 dosimètres d'extrémités désignés par unité de traitement examinée, plus un nombre suffisant de dosimètres de contrôle pour la procédure de relevé. Pour chaque unité soumise à des essais, le personnel du centre d'étalonnage répartira les dosimètres remis en au moins 5 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun et il soumettra chacun de ces groupes de dosimètres à une irradiation correspondant à une dose absorbée par un tissu mou située entre 10 mGy et 90,0 mGy, à une profondeur de 7 mg/cm^2 , à l'aide de sa source ^{90}Sr-^{90}Y. Les doses appliquées aux dosimètres ne seront pas révélées à ce moment-là au service de dosimétrie.

2) On renverra les dosimètres de contrôle et les dosimètres irradiés au service de dosimétrie pour qu'ils soient traités suivant la procédure de routine qui y est appliquée. Le service communiquera alors les résultats en unités de dose absorbée au centre de référence en étalonnage.

3) Le centre de référence en étalonnage comparera les doses déclarées aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (les valeurs du service et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre de référence, avec copie au service de dosimétrie. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6.

D.3 Protocole relatif aux dosimètres n'exigeant pas de traitement

1) Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins à tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au moins 10 dosimètres au centre de référence en étalonnage. Le centre de référence en étalonnage soumettra les dosimètres à des irradiations correspondant à des doses absorbées par un tissu mou différentes mais connues, situées entre 10 mGy et 90,0 mGy, à une profondeur de 7 mg/cm^2, à l'aide de sa source ^{90}Sr-^{90}Y.

2) Le centre de référence en étalonnage comparera les résultats aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (les valeurs du service et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre de référence, avec copie au service de dosimétrie. Les dosimètres seront renvoyés au service de dosimétrie lorsque toutes les irradiations auront été effectuées. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.6.

D.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE E
NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE NEUTRONIQUE

E.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans la section 4.1.7.1.

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre directement des arrangements avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié. Les services qui utilisent des dosimètres devant faire l'objet d'un traitement (des détecteurs de traces nucléaires, par exemple) devront suivre le protocole décrit dans la section E.2. Ceux qui emploient des dosimètres n'exigeant pas de traitement (des dosimètres électroniques, par exemple) appliqueront plutôt le protocole figurant dans la section E.3.

E.2 Protocole relatif aux dosimètres individuels devant faire l'objet d'un traitement

1) Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, au moins une fois à tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage au moins 10 dosimètres désignés, plus un nombre suffisant de dosimètres de contrôle pour la procédure de relevé. Le personnel du centre d'étalonnage répartira les dosimètres remis en 2 groupes d'au moins 5 dosimètres chacun et il soumettra chacun de ces groupes de dosimètres placés dans un champ neutronique ^{241}Am-Be à des valeurs différentes mais connues de $H_p(10)$ dues aux neutrons situées entre 1 mSv et 10 mSv. Les valeurs des doses appliquées ne seront pas révélées à ce moment-là au service de dosimétrie.

2) On renverra les dosimètres de contrôle et les dosimètres irradiés au service de dosimétrie pour qu'ils soient traités suivant la procédure de routine qui y est appliquée. Le service communiquera alors les résultats au centre de référence en étalonnage.

3) Le centre de référence en étalonnage comparera les doses déclarées aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (les valeurs du service et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre d'étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.7.

E.3 Protocole relatif aux dosimètres individuels n'exigeant pas de traitement

1) Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers d'au moins une fois à tous les 12 mois, chaque service de dosimétrie doit faire parvenir au centre de référence en étalonnage un échantillon représentatif des dosimètres désignés. Le personnel du centre d'étalonnage soumettra chacun de ces dosimètres placés dans un champ neutronique Am-Be à deux valeurs différentes mais connues de $H_p(10)$ dues aux neutrons situées entre 1 mSv et 10 mSv.

2) Le centre de référence en étalonnage comparera les doses déclarées aux doses qui ont été appliquées aux dosimètres. Les résultats (les valeurs du service et celles du centre de référence en étalonnage) seront communiqués à la CCSN (voir l'adresse ci-dessous) par le centre d'étalonnage, avec copie au service de dosimétrie. Les dosimètres seront retournés au service de dosimétrie lorsque toutes les irradiations auront été vérifiées. Cet essai aura été réussi dans la mesure où les résultats déclarés seront conformes aux critères énoncés dans la section 4.1.7.

E.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE F
NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS EN DOSIMÉTRIE INTERNE

F.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans les sections 4.2.4 et 4.2.6.

Les services de dosimétrie doivent prendre directement des arrangements avec le centre de référence en étalonnage compétent pour participer à ces essais indépendants.

Lorsque les essais sont terminés et que leurs résultats ont été analysés, le personnel du centre de référence en étalonnage fait parvenir à la CCSN un rapport indiquant les laboratoires participants et les résultats obtenus par chacun de ces laboratoires lors des essais de fonctionnement. Lorsque le centre de référence en étalonnage constate qu'un service de dosimétrie interne agréé a échoué à un essai indépendant, il en avise la CCSN. Le centre de référence en étalonnage remet également à chaque laboratoire participant un rapport sur les résultats des essais, dans lequel les laboratoires participants sont désignés par un code.

F.2 Essais indépendants relatifs aux relevés *in vitro*

Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers d'au moins une fois à tous les 12 mois, ou à toute autre fréquence autorisée par la CCSN, le centre de référence en étalonnage remet à chaque laboratoire participant des échantillons réels et à blanc appropriés. Les services de dosimétrie sont mis à contribution pour chacun des radionucléides d'intérêt. Le service de dosimétrie analyse les échantillons selon un calendrier fourni par le centre de référence en étalonnage. Les résultats sont consignés sur un formulaire de déclaration type et renvoyés au centre de référence en étalonnage. Lorsque les réponses de tous les laboratoires ont été reçues, le centre de référence en étalonnage analyse les résultats et produit un rapport dans lequel chaque laboratoire est désigné par un code alphabétique. Le centre de référence en étalonnage informe chaque laboratoire de son propre code et transmet à la CCSN une liste des codes de tous les services de dosimétrie (titulaires et demandeurs de permis).

On peut obtenir d'autres détails sur les essais indépendants et la méthode d'analyse en s'adressant au centre de référence en étalonnage. Les services de dosimétrie doivent se soumettre à ces essais indépendants et obtenir la note de passage avant de recevoir un permis de la CCSN. Par la suite, ils s'acquitteront de cette obligation au moins une fois par an, pour démontrer qu'ils sont toujours capables de produire des résultats satisfaisants. La procédure devra être reprise si des modifications sont apportées au matériel ou à la méthode de mesure.

F.3 Essais indépendants relatifs aux relevés *in vivo*

Le centre de référence en étalonnage dispose de fantômes fabriqués dans un matériau équivalent au tissu organique pour une diversité de radionucléides dans les poumons, de fantômes cervicaux pour le ^{125}I et le ^{131}I dans la thyroïde et de fantômes BOMAB (BOttle MAnikin ABsorption) à charge d'eau et de taille variable pour les énergies photoniques supérieures.

Avant la délivrance du permis puis à intervalles réguliers, à une fréquence au moins annuelle, ou à toute autre fréquence autorisée par la CCSN, le service de dosimétrie doit se soumettre à des essais indépendants afin de démontrer qu'il est toujours capable de produire des résultats satisfaisants. Si des modifications importantes sont apportées au matériel ou à la méthode de mesure après que le service de dosimétrie a reçu son permis, la méthode ou le matériel de biodosage concernés doivent être soumis à un essai indépendant et le rapport doit avoir été approuvé par la CCSN avant que le titulaire du permis puisse mettre en œuvre ces modifications importantes.

Les essais indépendants relatifs au biodosage *in vivo* devront respecter les exigences suivantes :

1) Les mélanges de radionucléides utilisés pour les mesures sur les fantômes sont limités à trois radionucléides, ^{40}K étant exclu.
2) L'emplacement de l'activité dans les fantômes est réaliste (dans les poumons ou la région gastrointestinale, par exemple).
3) Les radionucléides utilisés dans les essais *in vivo* varient d'un essai à un autre.
4) Les fantômes BOMAB à charge d'eau qui sont utilisés dans les essais *in vivo* contiennent tous du ^{40}K et couvrent l'éventail suivant :
    a) fantôme féminin de référence
    b) fantôme masculin, 5^{e} percentile
    c) fantôme masculin de référence
    d) fantôme masculin, 95^{e} percentile

Par ailleurs, afin que les essais soient représentatifs du milieu de travail, il convient d'utiliser des plaques de recouvrement dans les essais *in vivo*.

F.4 Essais de fonctionnement relatifs au contrôle de la dose efficace engagée

Avant la délivrance du permis puis puis à intervalles réguliers d'au moins une fois à tous les 12 mois, ou à une autre fréquence déterminée en consultation avec la CCSN, le centre de référence en étalonnage doit fournir à chaque laboratoire participant des scénarios d'exposition hypothétiques. Le service de dosimétrie évalue la dose efficace engagée à partir de scénarios d'exposition hypothétiques qui sont pertinents pour les activités réalisées par les titulaires de permis de la CCSN qui ont recours au service de dosimétrie. Lorsque tous les laboratoires ont répondu, le centre de référence en étalonnage analyse

les résultats et publie un rapport et chaque laboratoire est identifié seulement par un code. Le centre de référence en étalonnage informe chaque laboratoire de son propre code et communique à la CCSN le code de chaque service de dosimétrie (titulaires et demandeurs de permis).

De plus amples détails sur les essais de fonctionnement peuvent être obtenus auprès du centre de référence en étalonnage. Les services de dosimétrie doivent participer à ces essais de fonctionnement avant de se voir accorder un permis de service de dosimétrie par la CCSN, et ensuite, au moins une fois par année, ils doivent encore participer à ces essais afin de démontrer qu'ils demeurent compétents.

F.5 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

On pourra obtenir de plus amples renseignements sur ces essais en communiquant avec le centre de référence en étalonnage.

ANNEXE G
NORMES RELATIVES AUX ESSAIS INDÉPENDANTS POUR LA MESURE DE L'EXPOSITION AU RADON ET AUX PRODUITS DE FILIATION DU RADON

G.1 Introduction

Outre le programme interne d'assurance de la qualité décrit dans la section 5.0, des essais indépendants doivent être effectués, suivant la description qui en est donnée dans les sections 4.3.5 et 4.3.8.

Les services de dosimétrie qui sont prêts à se soumettre à des essais indépendants doivent prendre directement des arrangements avec le personnel du centre de référence en étalonnage approprié (voir l'annexe J).

G.2 Protocole relatif aux moniteurs individuels

Les appareils envoyés doivent être propres, exempts de contamination et en bon état de marche. Le fonctionnement général d'un appareil doit être conforme, sur le plan de l'exactitude, aux normes indiquées dans le tableau 7 de la section 4.3.3, pour les produits de filiation du radon, et dans la section 4.3.6, pour le radon. Le service de dosimétrie doit effectuer les arrangements nécessaires avec le centre de référence en étalonnage avant d'y envoyer ses appareils.

G.3 Échantillonnage instantané

Des essais indépendants sont également exigés pour les services de dosimétrie qui ont recours à l'échantillonnage instantané pour déterminer l'exposition des travailleurs aux produits de filiation du radon (les moniteurs individuels de l'exposition au radon étant relativement peu coûteux et facilement disponibles, la dosimétrie du radon par échantillonnage instantané n'est pas examinée dans le présent document). La détermination de l'exposition aux produits de filiation du radon par échantillonnage instantané comporte plusieurs étapes. Il faut tout d'abord recueillir les aérosols sur un filtre, pendant une courte période de temps, puis mesurer la radioactivité des aérosols, et enfin calculer le rayonnement alpha potentiel [unité alpha (WL), ou $\mu J/m^3$] dû aux produits de filiation du radon à courte période. Il faut également procéder à l'étalonnage de la ligne de prélèvement des échantillons d'air et du système de comptage. La détermination est une opération complexe et sujette à des erreurs associées aux appareils et à des variations dans la mise en œuvre de la méthode de collecte par les techniciens qui effectuent la détermination.

Il se peut qu'il ne soit pas possible de mettre en œuvre un programme d'essais indépendants classique pour vérifier le rendement des systèmes de mesure parce qu'un tel programme exigerait que les systèmes de mesure et toutes les méthodes employées par

les différents techniciens soient vérifiés périodiquement au centre de référence en étalonnage de la CCSN. À titre de mesure de remplacement, la CCSN désignera un inspecteur dont les compétences en matière de mesure de l'exposition aux produits de filiation du radon seront vérifiées une fois par an par le centre de référence en étalonnage. Les services de dosimétrie pourront alors faire vérifier le rendement de leurs techniciens, une fois par an, selon l'une ou l'autre des deux méthodes suivantes :

1) L'inspecteur de la CCSN désigné évalue tous les techniciens de chaque service de dosimétrie; ou

2) La CCSN évalue un technicien désigné représentant le service de dosimétrie, dans la méthode décrite ci-dessus, et autorise ce technicien à évaluer à son tour tous les autres techniciens de ce service qui effectuent des échantillonnages instantanés à des fins de dosimétrie des produits de filiation du radon. Les résultats des évaluations doivent être consignés et conservés par le service de dosimétrie.

Les évaluations décrites ci-dessus exigent un minimum de 10 échantillons. Les écarts entre les résultats du rendement global des appareils et des techniciens chargés de l'échantillonnage doivent être conformes aux normes d'exactitude indiquées dans le tableau 8 de la section 4.3.3.

G.4 Rapport

Le personnel du centre de référence en étalonnage communique les résultats des essais à la CCSN à l'adresse suivante :

Spécialiste des permis pour les services de dosimétrie
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C. P. 1046, succursale B
Ottawa (Ontario) K1P 5S9
CANADA

Les questions relatives à l'évaluation directe des techniciens au centre de référence en étalonnage doivent être adressées au centre de référence en étalonnage.

ANNEXE H
EXEMPLES DE CALCULS POUR LES MESURES DE L'EXPOSITION AUX PRLP

H.1 Exemple de calcul pour la détermination de la concentration minimale mesurable

L'activité volumique minimale mesurable, ou concentration minimale mesurable (MMC, de l'anglais *Minimum Measurable Concentration*) dans l'air varie selon les paramètres du système de comptage et le volume de l'échantillon. L'équation suivante, établie par Strom et Stansbury [18], fait en sorte que la probabilité de ne pas déceler l'activité volumique est inférieure à 5 %. D'autres équations peuvent être acceptables, selon la situation.

$$MMC = \frac{2{,}71 + 4{,}65\sqrt{C_b}}{T_c} * \frac{1}{E * V}$$

où

C_b = compte du fond naturel de rayonnement fourni par le détecteur

T_c = temps de comptage en secondes
E = efficacité du détecteur en « coups » par seconde par Bq
V = volume de l'échantillon en m^3

On peut obtenir une MMC de 0,05 Bq/m^3 en faisant varier les paramètres de l'équation. Par exemple, si le comptage du fond de rayonnement est de 250, le temps de comptage, de 3 600 secondes, l'efficacité du détecteur, de 0,35, et le volume de l'échantillon, de 1,2 m^3, la valeur de MMC est alors :

$$MMC = \frac{2{,}71 + 4{,}65\sqrt{250}}{3600} * \frac{1}{0{,}35 * 1{,}2}$$

$= 0{,}05\ Bq/m^3$

ce qui est une valeur acceptable.

Remarque : le volume de l'échantillon dépend à la fois du débit de la pompe à prélèvement d'échantillons d'air et de la durée de l'échantillonnage.

H.2 Exemple de calcul de l'incertitude

Si la différence de taux de comptage, exprimée en comptes par minute (cpm), est de 2 ou plus, et que le nombre total de « coups » (échantillon, plus fond naturel de rayonnement) est supérieur à 40, les équations suivantes peuvent être utilisées pour calculer les limites

où se situe le compte réel (inconnu) 95 fois sur 100 (Ballot [19], National Radiological *Protection Board* NRPB R-113 [20]).

Limite inférieure $= (C_t - C_b) - 1{,}96\sqrt{C_t + C_b}$

Limite supérieure $= (C_t - C_b) + 1{,}96\sqrt{C_t + C_b}$

où

Cb = compte du fond naturel de rayonnement pour le temps de comptage de l'échantillon
Ct = compte total
Ct - Cb = compte net

avec une valeur implicite de LAI de 3 190 Bq pour les poussières uranifères et, par conséquent, une valeur implicite de LDCA de 1,33 Bq m^{-3},
en supposant 2 000 h de travail par an et un rythme respiratoire de 1,2 m^3/h;
un taux d'échantillonnage de 2,5 L min^{-1} (2,5 x 10^{-3} m^3 min^{-1});
une durée d'échantillonnage de 6 heures;
un rendement de comptage de 0,4;
un taux de comptage du fond naturel de rayonnement de 1 cpm;

et quand la concentration de PRLP est de 1/10 de la valeur implicite de la LDCA (0,133 Bq m^{-3}),

l'activité captée au filtre est

0,133 Bq m^{-3} x 2,5 x 10^{-3} m^3 min^{-1} x 60 min h^{-1} x 6 h = 0,120 Bq

et le taux de comptage total (échantillon, plus fond naturel de rayonnement) est

1 cpm + (60 s min^{-1} x 0,120 Bq x 0,4) = 3,87 cpm.

Si le comptage du fond naturel de rayonnement et de l'échantillon dure 20 minutes, le compte du fond naturel de rayonnement est alors de 20 et le compte d'échantillon (compte total) est

20 x 3,87 = 77 (valeur arrondie au nombre entier le plus proche)

Si on résout les équations précédentes avec les valeurs précitées (C_b = 20 et C_t = 77), on obtient :

38 à la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 95 %;
76 à la limite supérieure de l'intervalle de confiance de 95 %.

Ainsi, les probabilités sont de 95 % que le compte réel soit supérieur à 38 et inférieur à 76.

Étant donné que 57 est la meilleure valeur estimative du compte réel, les probabilités sont de 95 % que la mesure de la concentration de PRLP se situe entre - (57 - 38)/57 et + (76 - 57)/57, soit entre ± 33 %.

ANNEXE I
NORMES RELATIVES AUX DOSSIERS DE DOSES

I.1 Introduction

Tous les services de dosimétrie doivent verser leurs données sur les doses au Fichier dosimétrique national (FDN), à intervalles réguliers et sans retard injustifié. Les exploitants de ces services doivent veiller à ce que les données soient communiquées sous une forme acceptable.

I.2 Identification individuelle

L'identification individuelle doit être sans ambiguïté, ce qui mène nécessairement à une certaine redondance. L'information doit, au minimum, comporter les éléments suivants :

1) le numéro d'assurance sociale (N. A. S.);
2) les noms de famille actuels et antérieurs;
3) le premier prénom (officiel);
4) le deuxième prénom (officiel);
5) le sexe;
6) la date de naissance (année, mois, jour);
7) le lieu de naissance (province si l'intéressé est né au Canada ou pays s'il est né à l'étranger);
8) le code de profession ou la catégorie professionnelle.

I.3 Données sur les doses

I.3.1 Doses de sources externes

Les relevés de $H_p(10)$ correspondent à la dose effective. Les relevés de $H_p(0,07)$ correspondent à la dose équivalente à la peau. Les relevés des doses aux extrémités ou au cristallin correspondent aux équivalents de dose à ces tissus.

I.3.2 Doses de sources internes

On doit communiquer au Fichier dosimétrique national les estimations de doses de sources internes autres que celles qui sont mentionnées dans la section 4.3, sans omettre d'indiquer le radionucléide en cause et la dose effective engagée associée.

I.3.3 Exposition au radon et aux produits de filiation du radon et apport de poussières radioactives à longue période

On doit indiquer les expositions aux produits de filiation du radon en unités alpha-mois (WLM) et les apports de radon et de poussières radioactives à longue période en millisieverts (mSv).

I.4 Renseignements à l'appui

Outre les données sur les doses, le service de dosimétrie doit conserver toutes les données pertinentes utilisées pour obtenir la valeur totale, selon le cas, de la dose, de l'exposition ou de la concentration, telles que :

1) les relevés de dosimètres individuels et les autres données de mesure des rayonnements de source externe;
2) les mesures de charge d'organes;
3) les estimations d'apports de substances réglementées;
4) la méthode de mesure des concentrations dans les échantillons de biodosage;
5) les formes chimiques;
6) les modèles dosimétriques utilisés;
7) les mesures de la concentration des produits de filiation du radon dans l'air;
8) la durée du séjour des gens dans les lieux précis d'une mine.

On doit également conserver tout rapport d'enquête sur une surexposition ou sur toute autre dose inhabituelle.

ANNEXE J
CENTRES DE RÉFÉRENCE EN ÉTALONNAGE[3]

Les organismes suivants sont agréés par la CCSN comme centres de référence en étalonnage pour les types de dosimétrie indiqués.

J.1 Essais indépendants en dosimétrie externe : dosimétrie photonique, dosimétrie des extrémités et dosimétrie neutronique

Conseil national de recherches du Canada

Personne-ressource : Chef, Section des étalons de rayonnements ionisants
Institut des étalons nationaux de mesure
Conseil national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario) K1A 0R6
CANADA
Téléphone : (613) 993-2715

J.2 Essais indépendants en dosimétrie interne

Centre national de référence pour les essais biologiques et la surveillance *in vivo*, Santé Canada

Personne-ressource : Chef, Division des dangers des rayonnements du milieu
Santé Canada
775, chemin Brookfield
Ottawa (Ontario) K1A 1C1
CANADA
Téléphone : (613) 954-6672

J.3 Essais indépendants en dosimétrie du radon et des produits de filiation du radon

Bowser Morner

Personne-ressource : Director
Radiological Services Division
Bowser Morner
4518 Taylorsville Road
P.O. Box 51
Dayton, OH 45401-0051
U.S.A

[3] Dernière mise à jour le 25 juin 2004